

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Využití přístrojových diagnostických metod při stavebně – technickém
průzkumu historických dřevěných konstrukcí.**

**Utilization of instrumental diagnostic methods in technical – building
survey of historical timber structures**

Student:

Lukáš Fritscher

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Majstríková

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Fritscher**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb**
Téma: **Využití přístrojových diagnostických metod při stavebně – technickém průzkumu historických dřevěných konstrukcí**
Utilization of instrumental diagnostic methods in technical - building - survey of historical timber structures
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Dřevěné konstrukce jsou nedílnou součástí mnoha novodobých, ale i historických staveb. Tyto konstrukce jsou vystaveny působení mnoha vlivů, které mohou způsobit jejich degradaci, což má za následek i změnu určitých parametrů materiálů a také celých konstrukcí. Z tohoto důvodu je účelné provádět stavebně – technické průzkumy, které nám pomohou získat dostatek informací o jejich stávajícím stavu. K uvedenému účelu lze využít řadu metod, od vizuálních až po instrumentální. První část práce (teoretická) bude obsahovat popis dřeva jako konstrukčního materiálu, využívaného i pro specifické historické konstrukce, degradačních procesů a stavebně technického průzkumu. Dále budou popsány jednotlivé metody použitelné pro diagnostiku dřevěných konstrukcí. Ve druhé části (praktické) bude proveden předběžný stavebně technický průzkum vybrané dřevěné konstrukce historického objektu. Poté bude provedeno podrobné zkoumání s využitím přístrojové techniky, především přístrojů Resistograph a Pilodyn. Výsledky pak budou následně porovnány a vyhodnoceny.

Seznam doporučené odborné literatury:

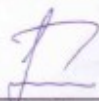
KOLEKTIV AUTORŮ: Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. Díl. Praha: Idea servis. 2008, ISBN 978-80-85970-62-3.
KUKLÍK, P.: Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
MENCL, V.: Stavebně technické průzkumy, Praha: ČKAIT, 2012, ISBN 978-80-87438-27-5
ŠKABRADA, J.: Konstrukce historických staveb. Praha: ARGO, 2007. ISBN 80-7203-548-7.
WITZANY, J., et al.: PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
ČSN EN 335 Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva (2013).
ČSN EN 384 Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty (2010).
ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností (2012).
ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (2011).
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí (2014).
ČSN EN 13183-1 Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení váhovou metodou (2002).
ČSN EN 13183-2 Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou (2002).
ČSN 490110 Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v směru vláken (1980).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Majstříková**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



Ing. Libor Židek
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejňovány v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly vynaloženy VŠB-TUO na vytvoření díly vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Anotace

Diagnostika historických dřevěných konstrukcí je speciální obor inženýrské činnosti zaměřující se na hodnocení stavu dřevěných artefaktů nebo dřeva zabudovaného ve stavbách. Kvalitně provedená diagnostika, která je u těchto případů staveb žádoucí, zahrnuje velmi sofistikované metody, využívající převážně neinvazivní a invazivní metody při téměř úplném vyloučení destruktivních sond. Nedoceníitelnými informacemi, které nám stanoví diagnostické metody, jsou fyzikální a mechanické vlastnosti dřevěných konstrukcí.

Bakalářské práce se zabývá problematikou využití přístrojových diagnostických metod při stavebně - technickém průzkumu historického dřevěného krovu na Zámku v Paskově. Při průzkumu bylo využito přístrojové techniky, především přístroje Resistograph IML PD 200 a Pilodyn 6J. Závěrem bakalářské práce budou orientačně stanoveny pevnosti dřevěných prvků krovu a to i v případě prvků s výskytem degradace, pokud při průzkumu budou nějaké objeveny.

Klíčová slova

Diagnostika, přístrojové diagnostické metody, stavebně – technický průzkum, historická dřevěná konstrukce, stanovení pevnosti, degradace, invazivní a neinvazivní metody.

Annotation

Diagnosis of historical timber structures is a special field of engineering activities focusing on the evaluation of the condition of wooden artifacts or wood embedded in the construction. A well-conducted diagnostic, that is desirable in these cases of structures, involves very sophisticated methods, using mainly non-invasive and invasive methods with almost complete exclusion of destructive probes. Priceless information, which sets out the diagnostic methods, are the physical and mechanical properties of wooden structures.

The bachelor thesis deals with the use of instrumental diagnostic methods in technical building survey of the historic wooden truss to Castle in Paskov. Instrumentation especially instruments Resistograph IML PD 200 and Pilodyn 6J were used for the survey. In conclusion of the bachelor thesis will be indicatively established, the strength of the wooden elements of the truss, and even in the case of elements that have been affected by the degradations, if the survey will be some discovered.

Key words

Diagnostics, instrumentation diagnostic methods, technical building survey, historical wooden structure, indication of strength, degradation, invasive and non-invasive methods.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitého značení	11
I. Teoretická část	13
1. Úvod.....	13
2. Dřevo	14
3. Struktura a složení dřeva	14
4. Vlastnosti dřeva.....	17
4.1. Vedlejší makroskopické znaky	17
4.2. Fyzikální vlastnosti dřeva	18
4.3. Mechanické vlastnosti dřeva	21
4.4. Trvanlivost dřeva	22
5. Degradace dřevěných konstrukcí	23
5.1. Biotické poškození dřeva.....	23
5.1.1. Dřevokazné houby	24
5.1.2. Dřevokazný hmyz.....	26
5.2. Abiotické poškození dřeva	27
5.2.1. Fyzikální degradace	27
5.2.2. Atmosférická degradace	27
5.2.3. Chemická koroze	28
6. Dřevo jako stavební materiál.....	28
6.1. Druhy využívaných dřevin	28
6.1.1. Jehličnaté dřeviny	29
6.1.2. Listnaté dřeviny	29
6.2. Druhy řeziva	30
6.3. Vady dřeva a jeho tvarové změny	30
7. Rozdělení dřevěných konstrukcí	32
8. Historie dřevěných konstrukcí	32

9.	Historické dřevěné stropní konstrukce	33
9.1.	Povalový strop	33
9.2.	Záklopy z trámů a desek	34
9.3.	Stropy s deskovými záklopy	35
9.4.	Kazetové stropy	36
9.5.	Stropy s omítanými (omazanými) záklopy	36
10.	Historické dřevěné krovy	37
10.1.	Skladba krovu	38
10.2.	Hlavní prvky krovu	39
10.3.	Další prvky krovu	40
10.4.	Vaznicová soustava se stojatou stolicí	40
10.5.	Druhy vaznicových krovů se stojatou stolicí	41
11.	Stavebně technický průzkum	42
11.1.	System hodnocení	42
11.1.1.	<i>Účel hodnocení</i>	42
11.1.2.	<i>Postup hodnocení</i>	43
11.2.	Předběžný průzkum	45
11.3.	Podrobný průzkum	46
11.4.	Výsledky hodnocení	47
12.	Diagnostické metody dřevěných konstrukcí	47
12.1.	Nedestruktivní metody	48
12.1.1.	<i>Vizuální hodnocení</i>	48
12.1.2.	<i>Měření vlhkosti</i>	49
12.1.3.	<i>Ultrazvuková průchodová metoda</i>	50
12.1.4.	<i>Sluchová metoda</i>	52
12.1.5.	<i>Metody s využitím optických přístrojů</i>	53
12.2.	Semi-destruktivní metody	53
12.2.1.	<i>Odporové zarážení trnu</i>	53
12.2.2.	<i>Odporové mikrovrtání</i>	55
12.2.3.	<i>Zatlačování trnu</i>	57
12.2.4.	<i>Vtiskací tvrdoměrná metoda</i>	58

12.2.5.	<i>Baumannovo kladívko</i>	59
12.3.	Destruktivní metody	60
II.	Praktická část	62
13.	Diagnostika historické dřevěné konstrukce	62
14.	Stavebně technický průzkum	62
14.1.	Předběžný průzkum	62
14.1.1.	<i>Studium dokumentace</i>	62
14.1.2.	<i>Předběžná prohlídka objektu</i>	65
14.1.3.	<i>Předběžné ověření</i>	70
14.1.4.	<i>Okamžitá opatření</i>	70
14.2.	Podrobný průzkum	70
14.2.1.	<i>Podrobná prohlídka</i>	71
14.2.2.	<i>Semidestruktivní zkoušky</i>	77
14.2.3.	<i>Destruktivní zkouška</i>	79
14.3.	Výsledky hodnocení	80
14.3.1.	<i>Vyhodnocení měření – plné vazby</i>	89
14.3.2.	<i>Vyhodnocení měření – kritická místa</i>	93
14.3.3.	<i>Návrh opatření kritických míst</i>	97
14.3.4.	<i>Celkové zhodnocení průzkumu</i>	97
15.	Závěr	98
16.	Poděkování	100
17.	Seznam použitých pramenů	101
18.	Přílohy	105

Seznam použitého značení

A	Plocha grafu odporu vrtání resistographem
ČSN	České technická norma
D	Průměr kuličky [mm]
E _{dyn}	Dynamický modul pružnosti [Pa]
E _{stat}	Statický modul pružnosti při 12 % vlhkosti [MPa]
EN	Evropská norma
F	Síla působící na kuličku [N] Síla potřebná k zatlačení polokuličky [N]
F _{max}	Maximální síla při zatížení [kN, N]
H _B	Brinellova tvrdost [MPa]
H _J	Jankova tvrdost [MPa]
Hz	Hertz
ISO	Mezinárodní norma
RD	Odpor vrtání [Nm·s·rad ⁻¹]
S	Otlačená plocha [100 mm ²]
T _n	Točivý moment [Nm]
a (příp. b)	Plocha, na kterou působí zatížení [mm ²]
a _w , b _w , l _w	Rozměry zkušebního tělesa v [m], při vlhkosti w
aj.	A jiné
apod.	A podobně
atd.	A tak dále
č.	Číslo
d	Průměr otlačené plochy ve dřevě [mm]
f	Frekvence [Hz]= [s ⁻¹]
f _{c,0,destruktivní}	Průměrná pevnost získaná upřesňující destruktivní zkouškou [MPa]
f _{c,0,nedestruktivní}	Průměrná hodnota RM faktorů [mm]
f _m	Pevnost v tahu za ohybu rovnoběžně s vlákny při 12 % vlhkosti [MPa]
h	Délka měřeného úseku [mm]
m ₁	Hmotnost zkušebního tělesa před sušením [g]
m ₀	Hmotnost absolutně suchého dřeva [kg]
m _w	Hmotnost vlhkého dřeva [kg], při vlhkosti 12 %
obr.	Obrázek

t_p	Hloubka penetrace Pilodynem 6J [mm]
$t_{p,12}$	Hloubka penetrace Pilodynem 6J při 12 % vlhkosti [mm]
$tzv.$	Takzvaný
$viz.$	Lze vidět (z latinského videlicet)
w	Vlhkost dřeva [%]
Δw	Rozdíl vlhkosti dřeva od vlhkosti 12 % [%]
ϕ	Průměrná hodnota
α	Převodní součinitel pro stanovení přibližné pevnosti dřeva
ρ	Hustota dřeva [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
ρ_{12}	Hustota dřeva při 12 % vlhkosti [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
ρ_w	Hustota dřeva při vlhkosti w [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
σ (příp. σ_w)	Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
λ	Vlnová délka [m]
v	Rychlost šíření [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
ω	Úhlová rychlost [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]

I. Teoretická část

1. Úvod

Diagnostika dřevěných, obzvláště historických dřevěných konstrukcí, si zaslouží pozornost odborné veřejnosti. Tento speciální obor inženýrské činnosti se zabývá hodnocením stavu dřeva zabudovaného ve stavbách nebo i dřevěných artefaktů. Konkrétně se jedná o analýzu vad a poruch a posuzování bezpečnosti a spolehlivosti stávajících konstrukcí. Zcela specifikovanou oblastí je diagnostika dřevěných historických staveb památkově chráněných nebo v památkovém zájmu. Jelikož mne tahle problematika velice zaujala, tato práce se zabývá právě diagnostikou a průzkumem historického dřevěného krovu, konkrétně na zámku v Paskově. Problematika historických dřevěných konstrukcí bude mimo praktické části rozebrána i v teoretické rovině.

Teoretická část mé práce bude obsahovat informace o dřevě, jeho struktuře a složení. Dále zde bude také věnovaná část historii dřevěných konstrukcí, jejich vlastnostem, výhodám a jednotlivým dřevinám. Součástí budou také informace o průzkumech a diagnostických metodách prováděných na dřevěných konstrukcích.

V praktické části bude popsán stavebně technický průzkum na krovu zámku v Paskově, popis zahrnující nedestruktivních a semidestruktivní zkoušky, které byly na konstrukci provedeny. Dále zde bude uvedena destruktivní zkouška na odebraných malých bezvadých vzorcích dřeva, prováděná ve školní laboratoři. Primární vzorek dřeva byl odebrán z konstrukce během diagnostiky krovu.

Závěrem mé práce budou orientačně kvalifikovány pevnosti jednotlivých dřevěných prvků krovu, na základě mnou provedených měření. Tyto hodnoty mohou být dále podkladem při statickém posouzení spolehlivosti, či únosnosti dřevěného krovu.

2. Dřevo

Dřevo můžeme charakterizovat jako anizotropní, nehomogenní, hygroskopický a organický materiál rostlinného původu, jehož vlastnosti jsou značně ovlivněny právě jeho anizotropií. Jedná se o rozdíly maximálních a minimálních hodnot fyzikálních i mechanických vlastností mezi směry, jejichž úhel je právě 90°. Dále jsou také vlastnosti dřeva ovlivněny různými lokálními anomáliemi v základní struktuře látky.

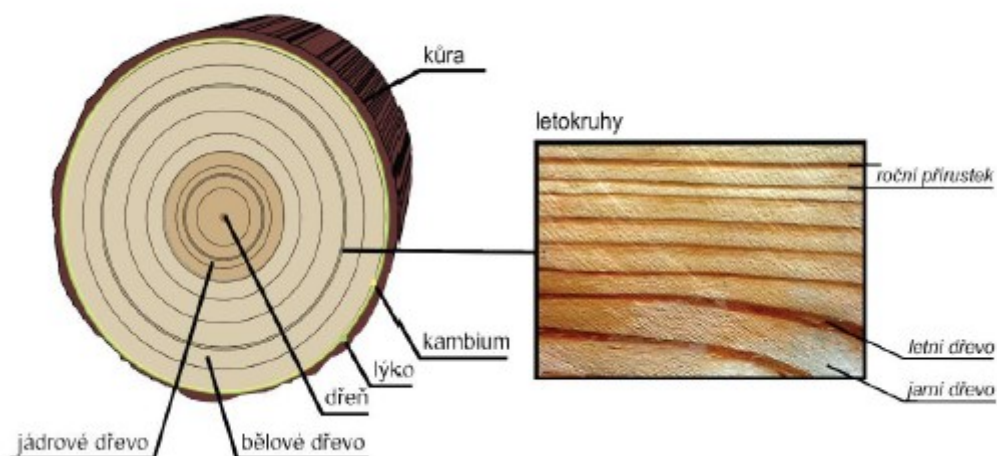
Primárně rozlišujeme dřevo na listnaté a jehličnaté. Tyto dřeviny se dále dělí podle tvrdosti na tvrdé a měkké. Dělení dle tvrdosti je závislé na chemickém složení dřeviny, kdy chemická stavba dřeva určuje jeho strukturu buněčných stěn i lumenů, a tím i fyzikálních a mechanických vlastností. [14, 22]

3. Struktura a složení dřeva

Norma ČSN EN 844-1 [2] definuje dřevo jako substanci mezi dřením a kůrou stromu nebo keře, obsahující lignin a celulózu. Dříví definuje jako dřevo v podobě stojících nebo pokácených stromů, nebo ve formě jejich prvotního zpracování. [23]

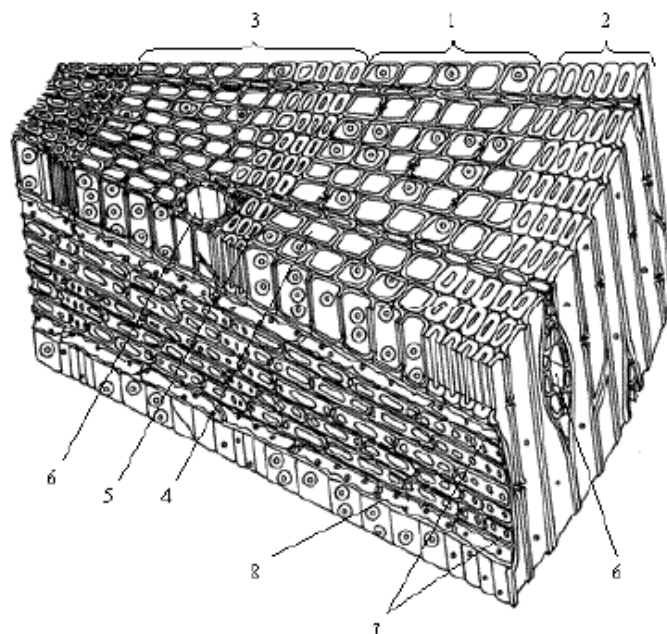
Makroskopická stavba dřeva – Jedná se o veškerou strukturu dřeva, která je viditelná pouhým okem (viz. obr. 1). Makroskopická stavba je podstatnou součástí při určování dřevin, rozpoznání vad a třídění jejich kvality. Dále ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti a také zpracování dřeva. [20]

Soubor jednotlivých prvků dřeva na příčném řezu se nazývá skladba (struktura) dřeva. Povrch kmene je pokryt vrstvou kůry a v její spodní části se nachází lýko. Pod vrstvou kůry je uložena tenká vrstva buněk, která se nazývá kambium. Kambium je definováno jako vrstva dělících buněk, tvořící v živém stromě zevně buňky lýka a dovnitř buňky dřeva. Za dobu jednoho vegetačního období dochází ke vzniku zřetelně oddělené přírůstkové vrstvy dřeva zvané letokruh. Letokruh je vždy tvořen vrstvou jarního a letního dřeva. Vrstva jarního dřeva bývá řidší a světlejší než je vrstva letního dřeva. Vnější vrstva dřeva, která obsahuje živé buňky a zároveň má schopnost vést roztoky, se nazývá běl. Tato vrstva bývá světlejší, než je vnitřní část kmene. Co se týká vnitřní části dřeva, jedná se o vrstvu, nazývanou se jádro dřeva. Jádro obsahuje odumřelé buňky dřeva a také tvoří tzv. obal dřeni, která je tvořena hlavně měkkými pletivy. [23]



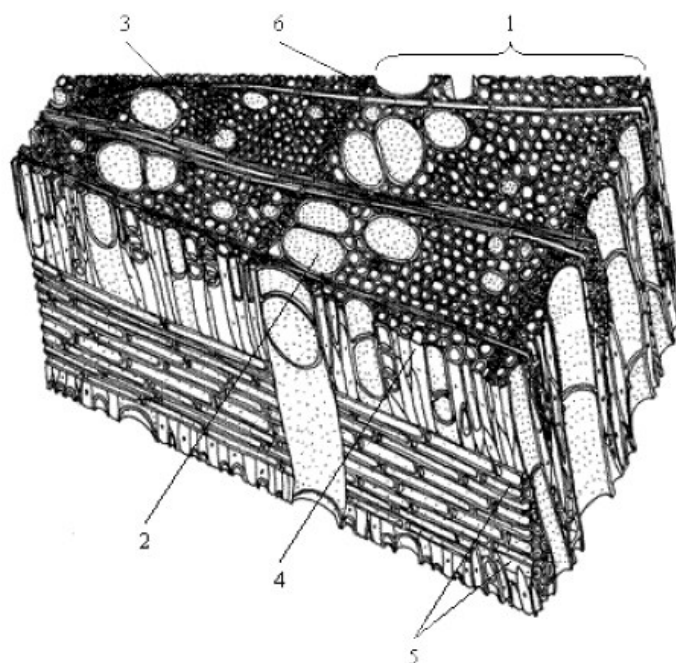
Obrázek 1 Makroskopická stavba kmene stromu [15]

Mikroskopická stavba dřeva – Definuje stavbu pozorovatelnou pomocí lupy či mikroskopu. Tato stavba udává typ, tvar a rozměr buňky i její osovou orientaci vzhledem k dřeni. Dále určuje tloušťku stěny buňky, různé anomálie a jiné formy jejího propojení. Strukturální stavba dřeva je závislá od druhu dřeva. Jehličnaté dřevo má stavbu jednodušší (viz. obr. 2) a pravidelnější nežli listnaté (viz. obr. 3). Mezi základní anatomické elementy jehličnatého dřeva patří – tracheidy a parenchymatické buňky. U listnatého dřeva to jsou – cévy, tracheidy, libriformní vlákna a parenchymatické buňky. [15, 20]



Obrázek 2 Mikroskopická stavba jehličnatého dřeva [15]

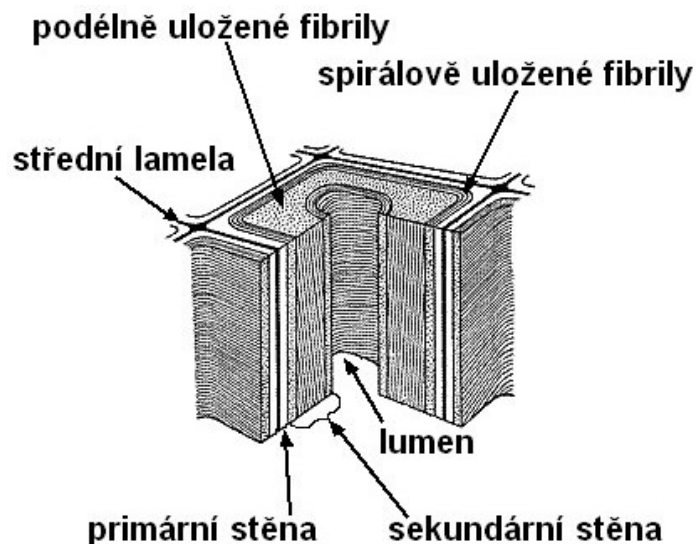
(1 - jarní dřevo, 2 - letní dřevo, 3 - letokruh, 4 - jarní tracheida s dvojtečkami, 5 - letní tracheida, 6 - pryskyřičný kanálek, 7 - dřevový paprsek, 8 - příčná tracheida)



Obrázek 3 Mikroskopická stavba listnatého dřeva [15]

(1 – letokruh, 2 – jarní céva, 3 – letní céva, 4 – libriformní vlákno, 5 – dřevový paprsek, 6 – podélný parenchym)

Submikroskopická stavba dřeva – Závisí na typu jednotlivých buněk a druhu dřeva. Udává stavbu buněčných stěn dřeva z hlediska jejich vrstevnatosti a způsobu umístění stavebních polymerů dřeva (celulóza, hemicelulóza, lignin). Stěnu buňky tvoří střední lamela, primární stěna a sekundární sendvičová stěna (viz. obr. 4). [20]



Obrázek 4 Submikroskopická stavba dřeva [19]

Chemická stavba dřeva – Závisí na druhu dřeva, typu buněk a lokalizaci látek v buňkách. Chemická stavba blíže určuje chemickou strukturu v buněčných stěnách i v lumenech, zejména základních stavebních komponentů - celulózy, hemicelulózy, ligninu a extraktivních látek a také zásadně ovlivňuje trvanlivost i další vlastnosti dřeva. Taktéž degradační procesy začínají již na molekulární hladině (např. hniloba, hoření, atmosférická koroze). [20]

4. Vlastnosti dřeva

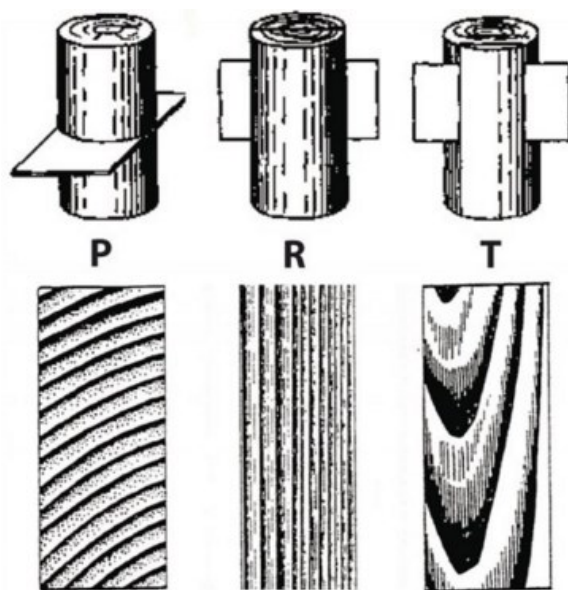
4.1. Vedlejší makroskopické znaky

Barva dřeva - Barva dřeva je pro jednotlivé dřeviny velmi proměnlivá a charakteristická. Mění se vlivem světla, vlhkosti a vzduchu. Na barvu dřeva mají vliv také klimatické podmínky. Dřevo z mírného pásma je světleji zbarvené než dřevo tropické. Dále je barva dřeva také ovlivněna technologickými operacemi, které se na dřevě provádí, konkrétně paření, moření a další způsoby pro úpravu jeho povrchu. Barevné změny povrchu dřeva také ovlivňují dřevozbarvující houby. Tento druh hub naruší pouze estetický charakter, avšak

vlastnosti dřeva se dále nemění. U borovicového dřeva například dochází k tzv. zamodráení běli. [15, 31]

Lesk dřeva - Lesk dřeva je schopnost odrážet světelné paprsky od hladkého povrchu dřeva. Tato schopnost je ovlivněna zejména dřeňovými paprsky. Lesk je možno nejvýrazněji vidět na radiálním řezu, kdy dřeňové paprsky tvoří lesklé plošky (zrcadla). [15, 31]

Textura dřeva - Značí tzv. kresbu dřeva, která vzniká kombinací jednotlivých makroskopických znaků. Nejlépe ji můžeme pozorovat na opracovaném povrchu dřeva, přičemž je charakteristická pro jednotlivé řezu všech druhů dřevin (viz. obr. 5). Její vzhled je závislý hned na několika faktorech. Nejdůležitějším je anatomická stavba (letokruhy, póry, dřeňové paprsky). Dalším vedlejším faktorem je barva, lesk, a druh řezu. U příčného (transversálním) řezu je textura ovlivněna nejvíce soustřednými letokruhy. Řez podélný středový (radiální) má oproti (tangenciálnímu) řezu texturu pravidelnější a střízlivější. [15, 20]



Obrázek 5 Schématické znázornění základních řezů kmenem
(P-příčný, R-radiální, T-tangenciální) [13]

4.2. Fyzikální vlastnosti dřeva

Dřevo jako velmi cenný přírodní materiál má výjimečné fyzikální vlastnosti. Charakteristickým znakem dřeva je rozdílnost vlastností v jednotlivých směrech a jeho vnitřní

struktura, která ovlivňuje výsledné vlastnosti materiálů. S těmito znaky je důležité počítat při posuzování jeho vlastností. [31]

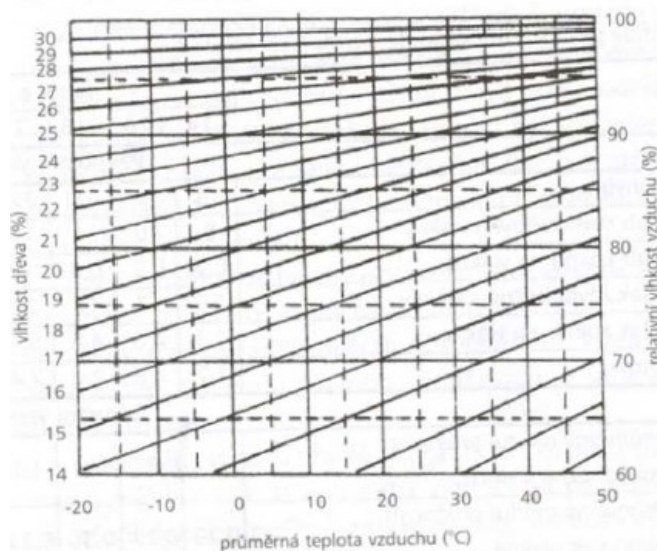
Hustota dřeva – Dle ČSN 49 0108 [3] závisí na druhu dřeva a na jeho vlhkosti. Při jejím nárůstu, dochází ke zvyšování hustoty dřeva. Ovlivňuje většinu jeho fyzikálních a mechanických vlastností. Je definovaná jako hmotnost určitého objemu dřevní hmoty včetně dutin a pórů. Udává se v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnota hustoty dřeva v suchém stavu se pohybuje v rozmezí okolo 400-700 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti v suchém stavu je uvedeno (viz. Tabulka 1). [22, 23]

Tabulka 1 Rozdělení dřevin dle objemové hmotnosti v suchém stavu [23]

Dřeviny	Objemová hmotnost sušiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Příklady dřevin
Velmi lehké	do 400	vejmutovka, topol
Lehké	400-500	jedle, smrk, borovice
Mírně lehké	500-600	vrba, modřín, mahagon
Středně lehké	600-700	bříza, jasan, dub, buk
Těžké	700-1000	akát, habr
Velmi těžké	nad 1000	eben

Hustota dřevní hmoty – Je hodnota zahrnující pouze pevnou složku dřevní hmoty bez veškerých pórů. Tato hodnota přibližně činí 1 500 kg/m^3 a je pro všechny druhy dřevin stejná. Je průměrnou hodnotou hustot hlavních složek dřeva. Celulóza ($\rho = 1\,580\text{ kg}/\text{m}^3$), hemicelulóza ($\rho = 1\,520\text{ kg}/\text{m}^3$) a lignin ($\rho = 1\,400\text{ kg}/\text{m}^3$). [22, 23]

Vlhkost – Dle normy ČSN EN 844-4 je vlhkost vyjádřena jako podíl hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu – vlhkost absolutní w_{abs} , nebo podíl hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva – vlhkost relativní w_{rel} . Hodnota vlhkosti je většinou vyjadřována v procentech. Dřevo, vysychající přirozenou cestou není nikdy úplně suché. S přibývajícím časem mezi vlhkostí okolního prostředí a vlhkostí dřeva nastává tzv. rovnovážný stav (viz. obr. 6). [15, 23]

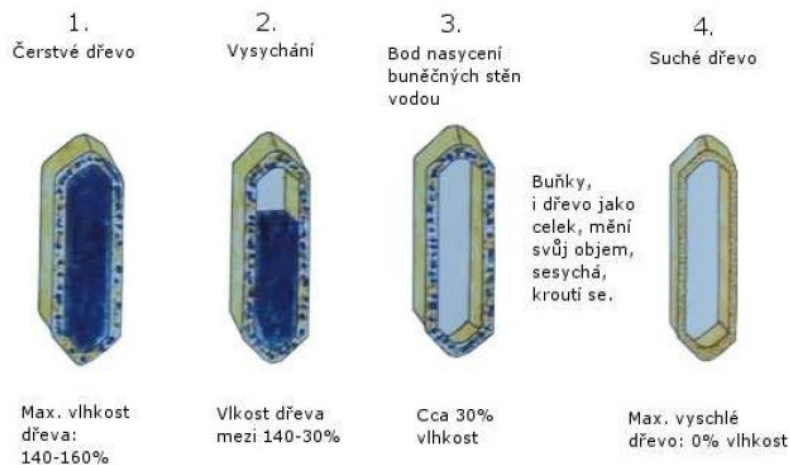


Obrázek 6 Rovnovážný stav vlhkosti dřeva [23]

Mez nasycení buněčných stěn (MNBS) – Jedná se o důležitou hodnotu vlhkosti, kdy jsou buněčné stěny ještě nasyceny vodou, ale v buněčných dutinách již žádná voda není. Dřevo, které obsahuje vlhkost do této meze, výrazně mění se změnou vlhkosti své rozměry a mění i svoje vlastnosti, zejména pak ty mechanické. S rostoucí hodnotou vlhkosti nad bod nasycení vláken již nedochází k výrazným změnám objemu. [15]

Sesychání a bobtnání – Tyto pojmy jsou pro technologické zpracování dřeva velmi důležité. Dle normy ČSN EN 844-4 [4] je sesychání definované jako zmenšení rozměrů dřeva způsobené snížením jeho vlhkosti. Rozdílný proces se nazývá bobtnání. S těmito dvěma procesy je velmi důležité počítat při zpracování dřeva, jelikož při nich dohází ke změně parametrů, jako jsou rozměry, objem a plocha dřeva. Tyto parametry se mění v oblasti vlhkosti 0 % až do bodu nasycení vláken. Deformace způsobené tímto procesem nazýváme vlhkostní přetvoření (viz. obr. 7).

Proces bobtnání i sesychání je rozdílný dle směru vláken dřeva, jinak probíhá v radiálním a jinak v tečném směru. Absolutně vysušené dřevo seschne v podélném směru průměrně o 0,2 %, v radiálním směru o 5 % a v tečném směru o 15%. [23]



Obrázek 7 Proces vysychání dřeva [40]

4.3. Mechanické vlastnosti dřeva

Dřevo je stavební materiál, který má s ohledem na svou měrnou hmotnost relativně vysoké pevnosti a výhodné i další mechanické parametry. Od ostatních tradičních materiálů se dřevo liší tím, že má vždy v daném směru řádově stejné pevnosti v tahu, tlaku i ohybu. [26]

Mechanické vlastnosti dřeva udávají schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Předností dřeva je také jeho lehkost, snadná opracovatelnost a velká pevnost. Pevnost dřeva se však velmi liší dle směru působení na jeho vlákna. Hodnota rovnoběžně s vlákny je rozdílná od hodnoty kolmo na vlákna. [23]

Pevnost dřeva charakterizuje odolnost dřeva vůči zatížení až do jeho trvalého porušení a je vyjádřena napětím, při kterém dojde k porušení vnitřní struktury dřeva. Jednotlivé pevnosti dřeva (viz. Tabulka 2) se zjišťují pomocí zkoušek, kdy se sleduje síla v okamžiku poruchy vzorku. [15]

Tabulka 2 Třídy pevnosti dřeva [23]

Třídy pevnosti dřeva podle normy ČSN EN 338

Tab. 4.144

	Topol a jehličnaté dřeviny									Listnaté dřeviny					
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Pevnostní vlastnosti (N/mm ²)															
Ohyb	14	16	18	22	24	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vlákny	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo na vlákna	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Tlak rovnoběžně s vlákny	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	34
Tlak kolmo na vlákna	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Smyk	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Tuhostní vlastnosti (kN/mm ²)															
Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	7	8	9	10	11	12	12	13	14	10	10	11	14	17	20
Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Průměrný modul pružnosti ve smyku	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25

Dle druhu namáhání rozlišujeme tyto pevnosti dřeva:

- v tahu;
- v tlaku;
- ve smyku;
- v ohybu;
- v kroucení.

Modul pružnosti dané dřeviny roste s objemovou hmotností a klesá s přibývajícím vlhkostí dřeva. Při namáhání tahem, tlakem nebo ohybem se moduly pružnosti od sebe nepatrně liší a z tohoto důvodu se udávají jednou hodnotou. Hodnoty modulu pružnosti kolmo k vláknům jsou přibližně desetkrát až dvacetkrát nižší než jsou moduly pružnosti rovnoběžně s vlákny. [23, 31]

4.4. Trvanlivost dřeva

Trvanlivost dřeva je definovaná jako odolnost jednotlivých druhů dřeva proti účinkům vnějších vlivů. Jedná se o působení povětrnostních vlivů, biotických škůdců, požáru atd. Schopnost dřeva odolávat těmto vlivům závisí jen v malé míře na jeho vlastnostech. Rozhodujícími faktory, které ovlivňují odolnost dřeva, jsou podmínky prostředí a jeho ochrana na stavbě. Dlouhá životnost dřevěné konstrukce je zajištěna za předpokladu, že je dobře navržena, přiměřeně užívaná a udržovaná. [26]

Odolnost dřeva není v žádném případě spojená s jeho objemovou hmotností, ale je závislá na obsahu některých látek, jako jsou třísloviny, flavonoidy a terpenoidy aj. Trvanlivost dřeva je nejvíce ovlivněna kolísavou vlhkostí zvláště tehdy, je-li dřevo částečně ve styku s půdou. Průměrné trvanlivosti jednotlivých dřevin (viz. Tabulka 3). [23, 26]

Tabulka 3 Průměrná trvanlivost některých druhů dřev na vzduchu, bez styku s půdou [23]

Druh dřeva	Průměrná trvanlivost v letech
buk	5 až 95
borovice	90 až 120
dub	100 až 200
modřín	90 až 120
smrk	50 až 75

5. Degradace dřevěných konstrukcí

Poruchou neboli degradací dřevěných konstrukcí se rozumí každá změna jejího stavu oproti stavu původnímu, projevující se snížením její užitkové, či estetické nebo památkové hodnoty i životnosti.

Jelikož je dřevo organický přírodní materiál, předpoklad vzniku degradačních procesů je značný. K degradaci dřeva dochází za vhodných podmínek, jako jsou dostatečná vlhkost, kyslík, teplo a výživný substrát.

Degradační procesy dřeva rozdělujeme do dvou hlavních skupin na biotické a abiotické poškození. Biotické poškození je způsobeno zejména vlivem dřevokazných hub a dřevokazného hmyzu. Abiotické poškození dřeva je zapříčiněno působením neživých činitelů, jako jsou například povětrnostní vlivy, vliv požáru apod.

I přes tyto nepříznivé účinky, kterými jsou ovlivňovány určité vlastnosti dřeva, je dřevo považováno za výborný a mnohdy nenahraditelný stavební materiál. [21]

5.1. Biotické poškození dřeva

Počáteční příčinou biotického poškození dřevěných konstrukcí je voda. Voda je velmi důležitým zdrojem pro vznik a růst dřevokazných hub a hmyzu. Dále je také potřebná pro aktivitu méně závažných škůdců dřeva – plísní, dřevozbarvujících hub a bakterií.

K biotickému poškození dochází nejen u pokáceného dřeva, ale i u nepokáceného. Kmeny zdravých a žijících stromů jsou napadány nejen bakteriemi, houbami a hmyzem, ale také v něm hledají útočiště různí živočichové. [20, 21]

5.1.1. Dřevokazné houby

Dřevokazné houby vytvářejí ve dřevě hnědou, bílou nebo měkkou hnilobu, čímž výrazně zhoršují jeho mechanické vlastnosti, způsobují poškození a změnu struktury dřeva i buněčné stěny, přičemž charakter degradace závisí na enzymatickém aparátu houby.

- **hnědá hniloba** – způsobená celulózožravými houbami;
- **bílá hniloba** – způsobená ligninovými houbami;
- **měkká hniloba** – způsobená kontaktem dřeva s půdou.

Například dřevo postižené hnilobou s úbytkem hmotnosti 6 % vykazuje pokles pevnosti v tlaku 12 až 27 % nebo pokles jeho tvrdosti 18 až 28 %. Výrazný pokles pevnosti dřeva (viz. tabulka 4) způsobují hlavně celulózožravé houby (hnědá hniloba) – dřevomorka domácí, koniofora sklepní apod. Tyto houby výrazně degradují celulózu dřeva, která má ve dřevě obdobnou úlohu jako ocel v železobetonu. Hniloba má tedy přímý dopad na zhoršení statické funkce dřevěných prvků, a tudíž celé konstrukce. [21]

Tabulka 4 Znehodnocení mechanických vlastností dřeva v důsledku prvních stadií hniloby[21]

Vlastnost dřeva	Pokles kvantitativních parametrů [%]					
	hnědá hniloba			bílá hniloba		
hmotnost	2	6	10	2	6	10
rázová houževnatost	31 až 50	80	70 až 92	26	50	60
pevnost v tlaku napříč vláken	6 až 10	16 až 25	40	5	12 až 27	35
pevnost v ohybu	32	61	55 až 70	14	20 až 27	24
tvrdost	-	20 až 28	35 až 45	-	18	25

Nejčastěji vyskytující se dřevokazné houby u nás:

Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*) je celulózožravá houba (viz. obr 8). Napadá i poměrně málo vlhké dřevo, již od 16 až 18 % vlhkosti. Dřevo ve vyšším stádiu hniloby kostkovitě praská a zbarvuje se do tmavohnědých odstínů.

Výtrusy a mycelia dřevomorky jsou schopné přežít v latentním stádiu i více let. Při obnově vhodných vlhkostních podmínek se opět aktivují a staré výtrusy začínají znova klíčit a mycelium obnovuje svou degenerační činnost. [20, 21]



Obrázek 8 Plodnice dřevomorky domácí [39]

Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*) potřebuje pro svůj život vyšší vlhkost než dřevomorka domácí, přibližně 40 až 90 % a taktéž se jedná o celulózovorní houbu. Z těchto důvodů dochází k jejímu vzniku v místech, kde dochází k zatékání srážkové vody, nebo v místech kdy je dřevo v přímém kontaktu s vlhkými zdi např. sklepní prostory. Působením koniofory sklepní (viz. obr. 9) dochází k praskání až rozpadu dřeva na menší kostky než u dřevomorky domácí. [20]



Obrázek 9 *Koniofora sklepní* [39]

5.1.2. Dřevokazný hmyz

Napadá jak dřevo živé, tak stavebně opracované. Vývoj dřevokazného hmyzu je podle jeho druhu a čeledi různě dlouhý. Nevratné poškození dřeva je způsobeno zejména larvami hmyzu, které prožírají ve dřevě chodbičky, a tím negativně ovlivňují statiku dřevěné konstrukce. [23]

K živočišným škůdcům dřeva patří například:

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajalus*) představuje nejčastější a nejběžnější druh dřevokazného hmyzu (viz. obr 10), který napadá zabudované jehličnaté dřevo. Jeho bílé larvy vytváří oválné požerky o velikosti 7 x 12 mm. Larvy degradují materiál po dobu 3 až 7 let, optimálně při teplotách kolem 29 °C. Požerky jsou lokalizované typicky těsně pod povrchem dřevěného prvku. Jen velmi zřídka je poškozen celý průřez dřevěného prvku. [21, 23]



Obrázek 10 Dospělý tesařík krovový (vlevo) a jeho larva (vpravo) [32]

Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*) je nejčastěji se vyskytující druh červotoče v Evropě (viz. obr. 11). Způsobuje velmi rozsáhlé škody na zpracovaném dřevě jehličnanů i listnáčů. Nejčastěji napadá bělové dřevo. Červotoč také napadá široké spektrum dřevařských výrobků – nábytek, krovy a také hudební nástroje. Larvy červotoče proužkovaného jsou velice náchylné na nízké teploty. Při teplotě -15 °C dochází k uhynutí až 80 % jeho larev. Generace tohoto škůdce je převážně 2 – 3 letá. Výletový otvor tohoto jedince je kruhového průměru 1,5 – 2 mm. [20]



Obrázek 11 Červotoč proužkováný (vlevo) a jeho larva (vpravo) [32]

5.2. Abiotické poškození dřeva

Jedná se o degradaci dřevní hmoty vlivem neživých činitelů, jako jsou povětrnostní vlivy, požáry, účinky slunečního záření, extrémně nebo cyklicky se měnící teploty apod. Obecně rozdělujeme tyto tři základní typy degradace:

- fyzikální;
- atmosférické;
- chemické. [21]

5.2.1. Fyzikální degradace

Je způsobena zejména změnou vlhkosti dřeva a s tím souvisejícími objemovými změnami – bobtnání a smršťování (viz. kapitola 4.2.). V tomto případě destruktivní vliv na dřevo mají extrémní výkyvy teplot a vlhkosti, konkrétně teplot pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo nad $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti prostředí pod 50 % a nad 60 %. [20]

5.2.2. Atmosférická degradace

Jedná se o poruchy způsobené vlivem účinků slunečního záření, vody, kyslíku i extrémně se měnících teplot. Do tohoto druhu koroze také spadá degradace větrem, pískem, prachem, emisemi apod. Tyto druhy degradace považujeme za poruchy vznikající „přirozeným stárnutím dřeva“ a jsou typické pro venkovní expozice. Ve střepech a krovech nebývá vliv

přirozeného stárnutí dřeva příliš výrazný, jelikož zde chybí působení více abiotických činitelů a dřevo zde stárne zejména působením kyslíku. [21]

5.2.3. Chemická koroze

Degradace dřeva je způsobena i působením agresivních chemikálií. Jedná se především o působení zásad, kyselin a jejich solí. Tyto chemikálie se dostávají do kontaktu se dřevem ve formě plynů, kapalin, solí nebo past. Dřeviny odolné proti těmto vlivům jsou převážně dřeviny jehličnatých stromů. Méně odolné jsou dřeviny listnatých stromů. [20]

6. Dřevo jako stavební materiál

Dřevo, jakožto jeden z nejstarších používaných materiálů, je jedním z prvních, které se lidstvo už od pradávna naučilo zpracovávat a aplikovat jako materiál důležitý pro výstavbu jejich obydlí. Již z minulosti měl člověk poměrně rozsáhlé znalosti a zkušenosti se zpracováním a využíváním dřeva jako stavebního materiálu.

Dřevo sloužilo jako hlavní stavební prvek na českém a moravském venkově až do poloviny 19. století. Tato stavební surovina byla totiž jednou z nejdostupnějších a s ohledem na její životnost také jednou z nejlevnějších, která byla v této době na trhu. Pro svou mnohostrannost a výborné stavebně-fyzikální vlastnosti (pevnost, pružnost, tvrdost) se tento materiál v oblasti stavebního průmyslu dostává stále do popředí. Dřevo v dnešní době značí soulad mezi dvěma velmi důležitými pojmy a to jest ekonomie a ekologie.

Z těchto důvodů se v dnešní době opět vracíme ke dřevu jako ke stavebnímu materiálu stále častěji. Názorným příkladem výhod tohoto materiálu jsou dřevěné stavby v dobrém technickém stavu, které jsou staré již stovky let a stále nám předvádí svou zdatnost a velmi dobrý technický stav. [23, 33]

6.1. Druhy využívaných dřevin

Dřeviny lze dělit dle různých hledisek. Botanicky se dřeviny dělí na jehličnaté a listnaté. Obě tyto skupiny pak lze dále dělit na dřeviny tvrdé a měkké, mezi kterými však není přesně stanovená hranice. Další rozdělení je např. podle původu na domácí a dovezené. [23]

V následujícím textu jsou uvedeny dřeviny, které se používaly, či používají pro stavební účely.

6.1.1. Jehličnaté dřeviny

Smrkové dřevo je měkké, poměrně lehké a pryskyřičnaté s dlouhými vlákny. Toto dřevo je poměrně pružné, pevné a za sucha velmi dobře štípatelné, málo se bortí a sesychá. Smrkové dřevo je v interiérech velmi trvanlivé, avšak v exteriérech je odolnost poněkud nižší. Barva dřeva je žlutohnědá bez tmavého zbarvení jádra. Smrkové dřevo je využíváno prakticky na všechny druhy stavebního řeziva – jako konstrukční dřevo, tak i na stavebně truhlářské výrobky. [17, 23]

Jedlové dřevo má obdobné vlastnosti jako dřevo smrkové, avšak jeho pevnost je o něco nižší. Taktéž zpracovatelnost jedlového dřeva je horší než u smrkového. V suchu, ale také ve vodě je jedlové dřevo velmi trvanlivé. Dřevo má žlutobílé zbarvení a využití je obdobné jako u smrkového dřeva. [17, 23]

Modřínové dřevo má typickou načervenalou barvu s výraznou stejnosměrnou texturou a má velké množství suků. Modřín má těžké, poměrně křehké dřevo, ale ve srovnání se smrkovým dřevem je tvrdší a má výbornou trvanlivost v suchu i ve vodě. Modřínové dřevo se využívá v místech s vysokými požadavky na bezpečnost a trvanlivost, či s proměnnou vlhkostí a teplotou. V minulosti i dnes se modřín používá na krovy větších rozpětí a pro konstrukce ve vyšších třídách prostředí, kde je vhodný pro svůj vyšší obsah pryskyřic, který jej činí odolnějším. [17, 23]

6.1.2. Listnaté dřeviny

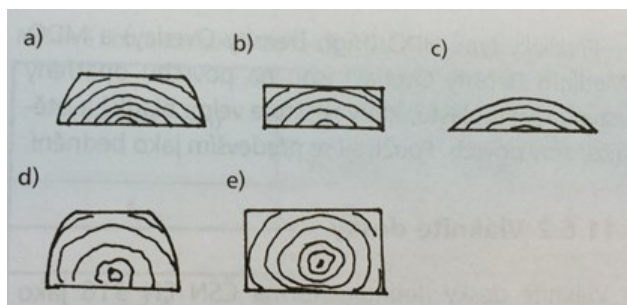
Bukové dřevo – Je u nás nejpoužívanějším dřevem z listnatých dřevin. Je tvrdé, těžké a dobře štípatelné dřevo. Jeho barva je světle hnědá s růžovým nádechem. Nevýhodou tohoto dřeva je jeho sesychání a praskání. Bukové dřevo se využívá především na výrobu dýh a překližek. [17, 23]

Dubové dřevo – Používá se pro nejkvalitnější práce z důvodu jeho vysoké pevnosti a pružnosti. Zabarvení dubu je světle hnědé s nazlátlým nádechem. Jeho běl je úzká a má široké hnědé jádro. Dub má vysokou životnost, která je ve vodě prakticky neomezená. Problém nastává při kolísavé vlhkosti. Dubové dřevo se ve stavebnictví využívá při výrobě dřevěných kolíků, jakostních vlysů a náročných stavebně truhlářských výrobků. [17, 23]

6.2. Druhy řeziva

Podle normy ČSN EN 844-3 [5] je řezivo definováno jako produkt, který je vyráběn z kulatiny nebo výřezů podélným dělením a je eventuálně zkráceno nebo opracováno a dosahuje určité rozměrové přesnosti.

Dle způsobu výroby se řezivo dělí na neomítané a omítané (viz. obr. 12). Neomítaným řezivem se rozumí řezivo s rovnoběžnými plochami a jedním nebo dvěma neopracovanými boky. Omítané řezivo je vyrobeno rovnoběžným opracováním neomítaného řeziva. Jedná se o řezivo s pravoúhlým příčným průřezem s dovolenými oblinami, které nepřekročí pevně stanovený rozsah. Další rozdělení řeziva je podle jeho rozměrů (viz. Tabulka 5).



Obrázek 12 Tvary řeziva [23]

a) prkno, b) fošna, c) omítané prkno, d) trám, polštář, e) hranol, hranolek

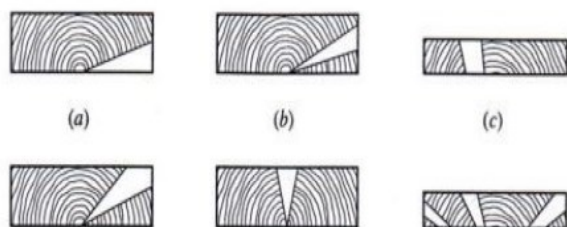
Tabulka 5 Druhy a rozměry řeziva [17]

Druh řeziva	Tloušťka d popř. výška h	Šířka b
Lať	$d \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Prkno	$d \leq 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$
Fošna	$d > 40 \text{ mm}$	$b > 3d$
Hranol	$b \leq h < 3b$	$b > 40 \text{ mm}$

6.3. Vady dřeva a jeho tvarové změny

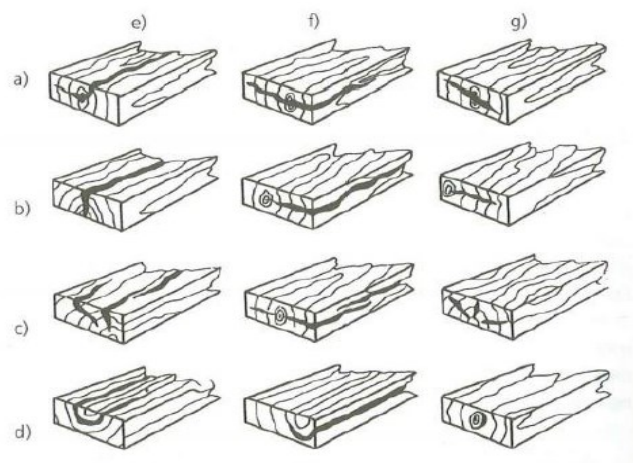
Vadami dřeva se rozumí odchylky od normálního stavu, popřípadě se za vady považují takové vlastnosti dřeva, které ovlivňují jeho účelové použití.

Norma ČSN EN 844-9 [6] rozlišuje vady růstové, mezi které patří suky (viz. obr. 13), trhlíny (viz. obr. 14), nepravidelnosti struktury a anomálie zbarvení dřeva. K vadám se také zahrnuje poškození vlivem působení cizopasných organismů. Mezi tyto organismy řadíme plísně, houby nebo hmyz.



Obrázek 13 Druhy suků [35]

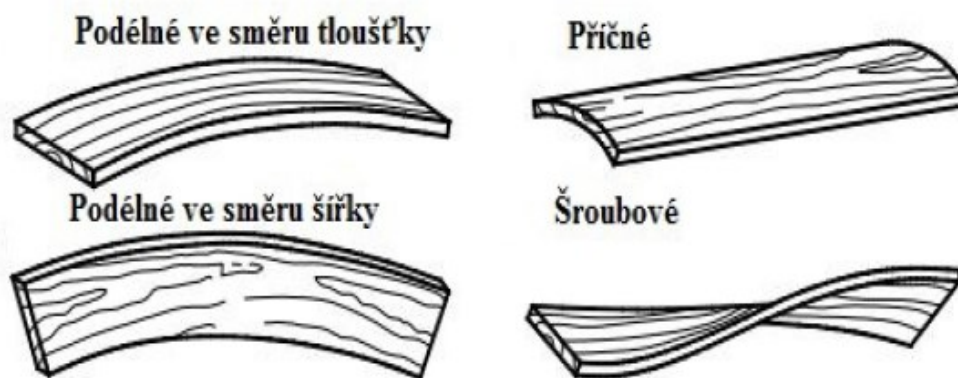
- a) křídlový suk, b) boční suk,
c) procházející suk, d) hranatý suk,
e) plošný suk, f) skupinový suk



Obrázek 14 Základní varianty trhlin [23]

- a) dřeňové, b) mrazové, c) výsušné,
d) odlupčivé, e) plošné, f) boční, g) čelní

Nestejněměrné sesychání a bobtnání dřeva v radiálním a tangenciálním směru způsobuje jeho tvarové změny, které jsou důsledkem anizotropní struktury dřeva. Vznikem tvarových změn dřeva dochází k tzv. zakřivení řeziva (viz. obr. 15).



Obrázek 15 Varianty zakřivení řeziva [23]

7. Rozdělení dřevěných konstrukcí

Hlavním důvodem rozvoje a využívání dřeva jako konstrukčního materiálu jsou jeho velmi dobré konstrukční vlastnosti. Dřevo je lehké, snadno opracovatelné a slouží také jako velmi dobrý tepelně izolační materiál. Svůj podíl na vzrůstající oblibě dřeva mají také požadavky na ochranu životního prostředí, jelikož právě dřevo je jedním z mála stavebních materiálů, které se řadí k obnovitelným zdrojům. [23]

Rozdělení dle využití konstrukčního dřeva:

- **stropy** - klasické (trámové, kazetové, fošnové, povalové);
 - současné (dřevobetonové, fošnové, krabicové, z masivu);
- **střešní konstrukce** - krovy (vaznicová a krokevní soustava);
 - vazníky (plnostěnné a příhradové);
- **dřevostavby** - sruby a roubenky;
 - panelové konstrukce z masivu;
 - skeletové systémy z trámů;
 - montované ze sendvičových panelů;
 - konstrukce z fošen nebo hranolů. [25]

8. Historie dřevěných konstrukcí

Dřevo jakožto stavební materiál bylo uplatňováno již v dobách předhistorických a historických. Novodobé využívání dřeva pro stavební konstrukce však datujeme až ke sklonku 18. století.

V Čechách a na Moravě docházelo ve druhé polovině 18. století ke kritické situaci, která byla spojená s energetickou krizí. Docházelo k vyčerpávání zásob dřeva, a tak ke zvyšování jeho ceny. Snižování jeho zásob bylo způsobeno jednak z důvodu jeho využívání ve stavebnictví, k vytápění lidského obydlí, ale také případnými lesními kalamitami. Všechny tyto vlivy ovlivňovaly použití dřeva pro stavební účely.

Z těchto důvodů dochází ke změně a postupnému vývoji klasického tesařství. Dřevěné konstrukce se omezují na krovy a polospalné stropy budov. Dochází k úpadku výstavby dřevěných budov v lidovém stavitelství na vesnicích, ale také ve městech.

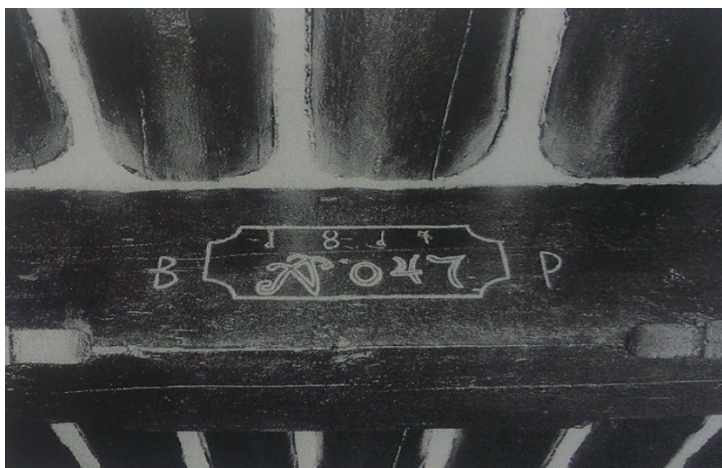
Prvním krokem k provedení úspory materiálu bylo snižování množství dřeva v krovech. Docházelo k opouštění soustavy s vaznicí u pozednice a kráčaty pod krokvemi. Tato soustava je nahrazována soustavou se svislou stolicí a vaznými trámy. Rovněž se využívalo lehčích krytin, čímž docházelo i k úspoře materiálu díky redukci rozměrů hlavních prvků krovů. Co se týče stropních konstrukcí, po celé 19. století je situace stejná. Náhrada trámů jiným prvkem je raritní. [29]

9. Historické dřevěné stropní konstrukce

9.1. Povalový strop

Tento druh konstrukce byl často využíván ve všech vrstvách společnosti, právě pro roubenou obytnou místnost. U tohoto typu stropu, je povalový záklop kladený podélně. Záklop je tvořen řadou trámů, kladených vedle sebe. Trámy jsou navzájem spojené skobami, nebo šikmo zaraženými dřevěnými klíny. Takto spojené trámy tvoří souvislou desku. Do spár mezi povaly se natlačil mech a spára se pak překryla hliněnou mazaninou. Uprostřed délky povalu je umístěn hraněný trám, který jej podpírá. U těchto typů trámů bývají výběhy, které jsou umístěné uprostřed, čímž se zvětší spodní plocha sloužící pro jeho výzdobu. Trámy bývají často ozdobeny motivy nebo datováním.

Povalový strop (viz. obr. 16), jednoznačně patří svým původem a těžkou skladbou, související s roubenou konstrukcí stěn, ke středoevropským a východoevropským tradicím. Tyto stropy se užívaly až do období 17. století, v některých regionech na vesnicích dokonce ještě déle. [24]



Obrázek 16 Povalový strop domu v Roseči u Jindřichova Hradce [24]

9.2. Záklopy z trámů a desek

Tato konstrukce (viz. obr. 17) pochází ze západní Evropy. Byla často využíváné ve městech a na vesnicích. Skládá se ze dvou typů trámů. Prvním typem byly systémy hlavních nosných trámů často podpírané konzolami, druhým typem byl systém tenčích trámů, které dohromady tvořily kostru záklopu. Zákloповé desky bylo možno usadit různými způsoby. Jedním z nich bylo jednoduché položení, polodrážka, při které měly trámky tvar obráceného písmena „T“, nebo bylo možné zasouvání do drážek na boku trámu. Desky byly taktéž těsněny mechem a fixovány dřevěnými kolyčky.

I když se u nás tento systém velmi nevyužíval, přece jenom můžeme na našem území pozorovat jeho občasné využití. Příkladem je Anežský klášter v Praze, Slepíčí trh a Zelenářská ulice ve Znojmě, nebo kapucinské kláštery ze 17. století, které představovaly mladší příklad využití systému. [24]



Obrázek 17 Stropní trám se záklopem z fošen [37]

9.3. Stropy s deskovými záklopy

Strop této konstrukce, s obvykle malovanou výzdobou, datovaný převážně do období baroka a renesance, přetrvává ve městech až do počátku 18. století. Náznak prvotních počátků byl už v pozdní gotice, čehož dokladem je radnice - Tábor.

Rozteče mezi trámy byly stále menší a úspornější, dosáhly vzdálenosti okolo jednoho metru. Trámy a desky byly ukládány různými způsoby, průběžně nebo krátce. Krátké byly zejména spodní, protože u horních byla průběžnost běžně možná.

Na trámu byly vybrány příčné pruhy a polodrážky, do příčných pruhů se ukládaly dlouhé spodní desky a do polodrážek konce krátkých desek. U rovných záklopů bez lišt, které měly fošny na pero a drážku, nebyla úprava horních stran trámu vůbec nutná.

Dřevěné stropy se buď natíraly, anebo ponechávaly v barvě přirozeného dřeva. U nejstarších staveb na vesnicích, kde se využívalo dýmné (topeniště s otevřeným ohněm, které bylo otevřené do prostoru světnice) či polodýmné vytápění, bývají stropy obvykle silně znečištěné sazemí a dehtem. Stropy se ošetřovaly nejčastěji vápenným nátěrem. Z důvodu výstavby prostorově větších staveb, bylo potřeba zvětšování rozponů. Pro zvýšení únosnosti trámových stropů se provádělo vkládání průvlaku. Průvlaky byly podpírány jednou, nebo více podporami. Tímto provedením vzniklo dvou, nebo vícelodní uspořádání. Příkladem jsou sýpky panských dvorů, což byly velkoplošné a mimořádně zatěžované prostory. [24]

Speciálním případem této konstrukce je strop s deskovým záklopem tvaru třikrát valené klenby. (viz. obr. 18).



Obrázek 18 Strop s deskovým záklopem tvaru třikrát valené klenby v lovecké síni na Hradě

Bouzov

9.4. Kazetové stropy

Kazetové stropy (viz. obr. 19) jsou variantou dřevěných pohledových stropů. Deskové podhledy pod trémovou kostrou jsou přibíjené hřebíky a členěné nejružnějším způsobem, například profilací. Nosné trámy těchto stropů mohou být připraveny pouze v hrubém, nepohledovém provedení. Vyskytovaly se v prostorech renesančních panských sídel a nejhonosnějších městských domech. Někdy i v neklenutých lodích prostších kostelů. [24]



Obrázek 19 Kazetový strop kapitulní - zasedací síně na Hradě Bouzov

9.5. Stropy s omítanými (omazanými) záklopy

V průběhu 18. století docházelo k postupné regresi ve výstavbě pohledových trémových stropů. Důvodem bylo protipožární nařízení, jehož efektivita se projevila od poloviny 18. století zejména u bohatších staveb. Změna konstrukce byla ovlivněna štukatéry z alpských a předalpských končin, kteří dokázali vytvořit omítaný povrch i na spodním líci vodorovné, skloněné, nebo jinak tvarované konstrukce. Nosný podklad pro maltu omítaného podhledu se tvořil prostřednictvím prkenného bednění, přes které se navíc v kolmém směru připevňoval rákos, pomocí drátu a speciálně kovaných hřebíčků se střežovitou hlavičkou. Tento typ stropu, se již v první polovině 19. století stále častěji objevuje i na venkově a jsou jim nahrazovány typické dřevěné stavby.

Stropy s omítanými záklopy (viz. obr. 20) se využívaly v barokních a renesančních stavbách, zejména v palácích a zámcích, zpravidla neckovitého tvaru, jakým je i Rytířský sál Valdštejnova paláce v Praze.

Nosnou konstrukci nepohledového trámového stropu byla jedna vrstva trámu. Tohle přinášelo své nevýhody, pokud byla na stropu podlaha horního podlaží. Proto se začaly používat dvě oddělené vrstvy trámů, zejména u náročnějších staveb v druhé polovině 18. století. Horní trám byl mohutnější a sloužil pro podlahu a spodní byl menší a položen níže, a sloužil pro podhled. Podlaha nad stropem se pokládala přímo na stropní trámy. [24]



Obrázek 20 Trámový strop s omítaným podhledem schodišťového prostoru na Zámku v Paskově

10. Historické dřevěné krovy

Krov, jakožto nosná část každé střechy, je nezbytnou součástí každé stavby. Jak bylo v minulosti zvykem, dřevo bylo hlavním materiálem pro výstavbu veškerých typů střešních konstrukcí. U historických krovů bylo dřevo nezbytnou součástí pro realizaci, avšak s ohledem na špatnou odolnost vůči ohni a dalším nepříznivým vlivům, byla jeho odolnost mnohem menší než u ostatních materiálů. [25]

Dřevěné části konstrukce jsou poškozovány a ničeny hnilobami i dřevokazným hmyzem. Pro historické krovy byly však největším nepřítelem devastující požáry, které většinou postihly celá města. Z tohoto důvodu pak docházelo k rekonstrukcím a velice obsáhlým opravám, při kterých docházelo k výměnám velkých částí krovů, někdy dokonce i ke kompletním. Tak docházelo k zániku dobových historických krovů.

Pojmem historické krovy se nám vybaví různé typy dřevěných krovů, využívaných ve všech stavebních slozích – románských, gotických, secesních, barokních či renesančních.

Přibližně od doby 1. pol. 19. století začala vznikat řada nových typů konstrukcí, které byly navrhovány dle zásad moderní statiky. Historické krovy, starší více než 400 let, jsou konstrukce, patřící mezi památky, které se dochovaly poměrně v menším počtu než ostatní historické konstrukce. Mezi velmi vzácné krovy patří krovy z dob gotického a románského období, avšak zcela ojedinělé jsou krovy z doby románské. [25]

V našich zemích přesto však existuje velké množství historických krovů. Tyto krovy jsou důkazem historického vývoje staveb a jsou svědkem vysoké úrovně řemeslné dovednosti, stavitelství a konstrukčně-technické vynalézavosti. Výsledky vytvořené tesařskými mistry jsou mnohdy srovnatelné s díly moderní inženýrské techniky. [25]

Historické krovy, které se nám podařilo zachovat do dnešní doby, tvoří velmi důležitou roli v kulturním dědictví naší země. Velmi často jsou brány v oblasti historického zkoumání jako hmotný pramen, který nám přináší spoustu informací o vzniku, nebo o různých pozdějších úpravách po dobu jejich životnosti. [25]

10.1. Skladba krovu

Krov je složen z řady nosných prvků. Jedná se o prvky vodorovné, svislé a šikmé. Jednotlivé celky krovů se dělí na podélné a příčné. U nejběžnější soustavy, a to vaznicové, jsou příčnými prvky vazby a podélné prvky zastávají vaznice.

S ohledem na to, že hlavním prvkem historických krovů jsou krokve přímo podepřené vaznicemi, je pro poznání použitého typu konstrukce nejvhodnější dělení krovů dle způsobu, s jakým dochází ke spojení krokve. Takto rozdělujeme soustavy na hambalkové a vaznicové.

U hambalkových krovů dochází ke spojení krokve (přeplátováním, případně čepovaným spojem) s vodorovnými rozpěrami – hambalky. To znamená, že na základně, která je tvořena vazními trámy, dojde k vytvoření soustavy typu „A“ s jednou, nebo více příčkami z hambalků, které jsou vodorovné. Později dochází k případnému podepření pomocí vaznic.

U vaznicových krovů dochází k osedlání vaznic krokvemi, ovšem konstrukce těchto krovů neobsahuje hambalky. Vaznicová soustava bývá doplněna o vzpěry. Podle uložení vzpěr se jedná buď o vaznicovou soustavu se stojatou stolicí (kolmé vzpěry), nebo s ležatou stolicí (šikmo uložené vzpěry). Vzpěry jsou tvořené ze sloupků. Vodorovnou tuhost obstarávají

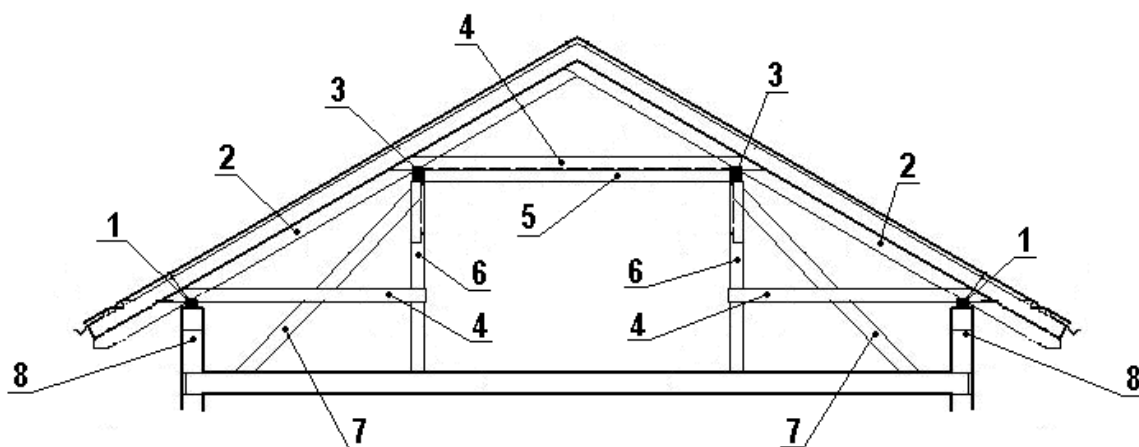
rozpěry, které jsou umístěny mezi vaznicemi. Později se pro vodorovnou distanci využívalo kleštin, které byly umístěny pod vaznicemi. [24]

10.2. Hlavní prvky krovu

Krov je složen z celé řady vodorovných, svislých a šikmých prvků. Části krovu se dělí na podélné a příčné. V nejběžnější vaznicové soustavě jsou příčnými prvky vazby a podélnými prvky jsou vaznice.

- **Vaznice** je vodorovný prvek (trám), který probíhá podélně pod krovem a podpírá krokve. Vaznice je umístěna na plných vazbách. Dle jejího umístění ji rozdělujeme na hřebenovou (v hřebeni střechy), pozednici (úpatí krokve) a středovou (přibližně ve dvou třetinách výšky krovu). Hřebenová a středová vaznice se klade vždy na výšku z důvodu vyšší náchylnosti na průhyb. Avšak pozednice je kladena naplocho.
- **Vazbu** rozdělujeme dle nosoucí funkce na plnou a jalovou. Plná vazba nese ostatní části krovu a rozmisťuje se přibližně 4 – 5 m od sebe. Používá se v místech nároží a úžlabí. Jalová vazba je složena pouze z nesených částí krovu tj. krokve. Její rozmístění je v rozsahu 0,90 – 1,20 m. Jalová vazba vznikla z důvodu úspory stavebního materiálu a k odlehčení celého krovu. [25]

V klasické vaznicové soustavě je plná vazba (viz. obr. 21) složena z páru krokví, výztužného prvku (hambalek nebo kleština) a podpůrného prvku (sloupek, vzpěra, pilíř, zděný štít).



Obrázek 21 Schéma plné vazby stojaté stolice s popisem prvků [42]

(1 - pozednice; 2 - krokve; 3 - vaznice; 4 - kleštiny; 5 - hambalek; 6 - sloupek; 7 - vzpěra; 8 – podezdívka)

10.3. Další prvky krovu

Nejčastěji se vyskytují níže uvedené typy prvků v krovech. Popis jejich funkce a uplatnění v jednotlivých konstrukčních soustavách je následující:

- **Vazný trám** je příčný vodorovný prvek krovu. Je to hlavní nosný prvek krovu, na kterém se nachází další prvky.
- **Krokev** je šikmý prvek krovu, který nese střešní latě. Krokev je spojená s vaznicemi (hřebenovou, středovou a pozednicí).
- **Hambalek** je prvek krovu, který spojuje dvě protilehlé krokve v hambalkové soustavě. Vkládá se do výšky $> 2,0$ m z důvodu průchozí výšky. Délka hambalku nesmí překročit 3,5 m.
- **Kleštiny** jsou vodorovné prvky, které ztužují pár krokví přesně ve výšce hambalku. V podstatě jde o pár prken, který je připevňován ze stran krokví.
- **Věšák** je svislý prvek, který má za úkol odlehčit vazný trám, který není možné opřít o nosnou stěnu budovy. Věšák také můžeme nazvat vazným trámem, který je „zavěšen“ na hambalku.
- **Sloupek** je svislý prvek, který v plné vazbě podepírá hambálek.
- **Zavětrování** slouží k zvýšení tuhosti (zpevnění) krovu v podélném směru. Provádí se v místech plných vazeb a to spojením sloupků s vaznicemi. Spojení dochází krátkými pásy, které šikmo rozepřou sloupek s vaznicí.
Jedním z druhů zavětrování jsou ondřejské kříže (šikmo přibírá prkna na krokve), které zajišťují prostorovou tuhost v podélném směru. [25]

10.4. Vaznicová soustava se stojatou stolicí

Z důvodu využití tohoto typu konstrukce v mém zkoumaném objektu, jsem se rozhodl ji detailněji zpracovat.

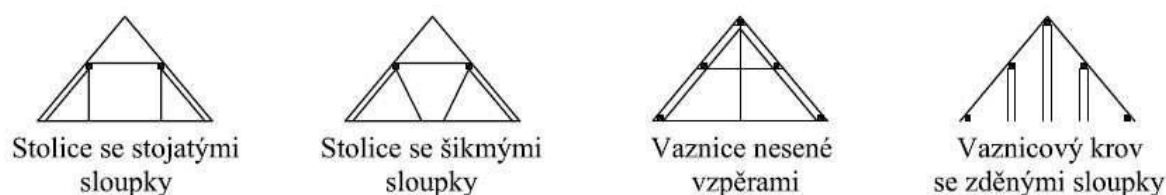
Snižováním sklonů střech v období klasicismu se přestaly využívat ležaté stolice. Rozdíl v soustavě s ležatou stolicí a stojatou stolicí bylo pouze v uložení sloupků. Sloupky v tomto případě přenášejí zatížení krovu do vnitřních zdí, nebo do vazných trámů. Provedení stojaté stolice je úspornější a méně pracnější než zhotovení ležaté stolice. Z tohoto důvodu je častěji využívána u starších českých krovů. Další podmínkou jejich provedení jsou prostory, kde nejsou kladeny požadavky na volný prostor v oblasti půdy. Vaznicová soustava nám také umožňuje provést zastřešení libovolného tvaru půdorysu bez ohledu na sklon střechy.

U plných vazeb příčné ztužení zajišťují hambalky tvořené z hranolů. Spojení je provedeno pomocí čepů, kolíků nebo plátem na rybinu. U novějších krovů (od 19. stol.) se krovy příčně ztužovaly pomocí kleštín, které byly tvořené z fošen. Spojení bylo provedeno svorníkovými spoji. Podélná, ale i příčná tuhost je u tohoto typu soustavy nižší, než u ostatních typů soustav. V případě narušení některého z prvku soustavy může dojít až ke kolapsu konstrukce. [27]

10.5. Druhy vaznicových krovů se stojatou stolicí

Stojaté stolice byly využívány již u krovů s podepřenými hambalky, které je možno na základě jejich statického působení řadit také do krovů vaznicových. Stojaté stolice se v průběhu celé historie vyskytují u pultových střech, kde se objevují v horních patrech ležatých stolic. Sloupky jsou svislé nebo šikmé. Často jsou také doplněny šikmými vzpěrami, které přenášejí zatížení do vazných trámů blíže k podporám, aby se snížilo namáhání trámů ohybovým momentem. Základní typy těchto krovů můžeme vidět na obrázku 22. [27]

- **Stolice se svislými sloupky** je nejčastěji využívanou krovovou konstrukcí 19. – 20. stol. Svislé sloupky přenáší zatížení na vazné trámy. Z tohoto důvodu se provádí vylehčování sloupků šikmými vzpěrami, nebo vzpěrami s rozpěrami. Vazné trámy jsou vynášeny věšadly.
- **Stolice se šikmými sloupky** zajišťují přenášení zatížení z vaznic do vazného trámu blíže k jeho podporám. Požadavky a nároky na dimenzi vazného trámu jsou nižší. Tento typ provedení má v určitých případech výhodnější rozdělení sil v konstrukci, nežli provedení se svislými sloupky.
- **Vaznice nesené vzpěrami** je častý typ konstrukce u kostelů v období 19. století, které mají střechu s větším sklonem, u níž dochází k redukci stojatých stolic se vzpěradlem. Zatížení v této konstrukci je přenášeno krátkými sloupky nebo pásky od vaznic do šikmých vzpěr. V tomto případě někdy chybí i sloupky, které jsou nahrazeny uložením vaznic pouze na kleštiny, které jsou namáhané na ohyb.
- **Vaznicový krov se zděnými sloupky** je variantou provedení krovu, která vznikla zjednodušením vaznicových krovů. Tyto typy krovů někdy neměly příčnou vazbu, dokonce někdy chybí i příčné ztužení kleštinami. [27]



Obrázek 22 Základní typy krovů vaznicové soustavy s ležatou stolicí [25]

11. Stavebně technický průzkum

Stavebně technický průzkum je základním typem průzkumu, sloužící pro výsledné hodnocení nosné konstrukce stavby. Dále je velice důležitým zdrojem informací o účincích zatížení či prostředí působícího na stavbu. Pro průzkum a hodnocení existujících konstrukcí je doporučena norma ČSN ISO 13822 a ČSN EN 1990. Pro popis provedení průzkumu a popis stanovení požadavků byla vybrána norma ČSN ISO 13822 [1], jelikož byla nově vydána v roce 2014. [18]

11.1. Systém hodnocení

11.1.1. Účel hodnocení

Po dohodě a konzultaci s objednavatelem (vlastníkem, úřadem, pojišťovací společností, atd.) je podstatné stanovit účel hodnocení existující konstrukce z hlediska požadavků na její budoucí funkční způsobilost. Ta je výsledkem následujících funkčních úrovní: [1]

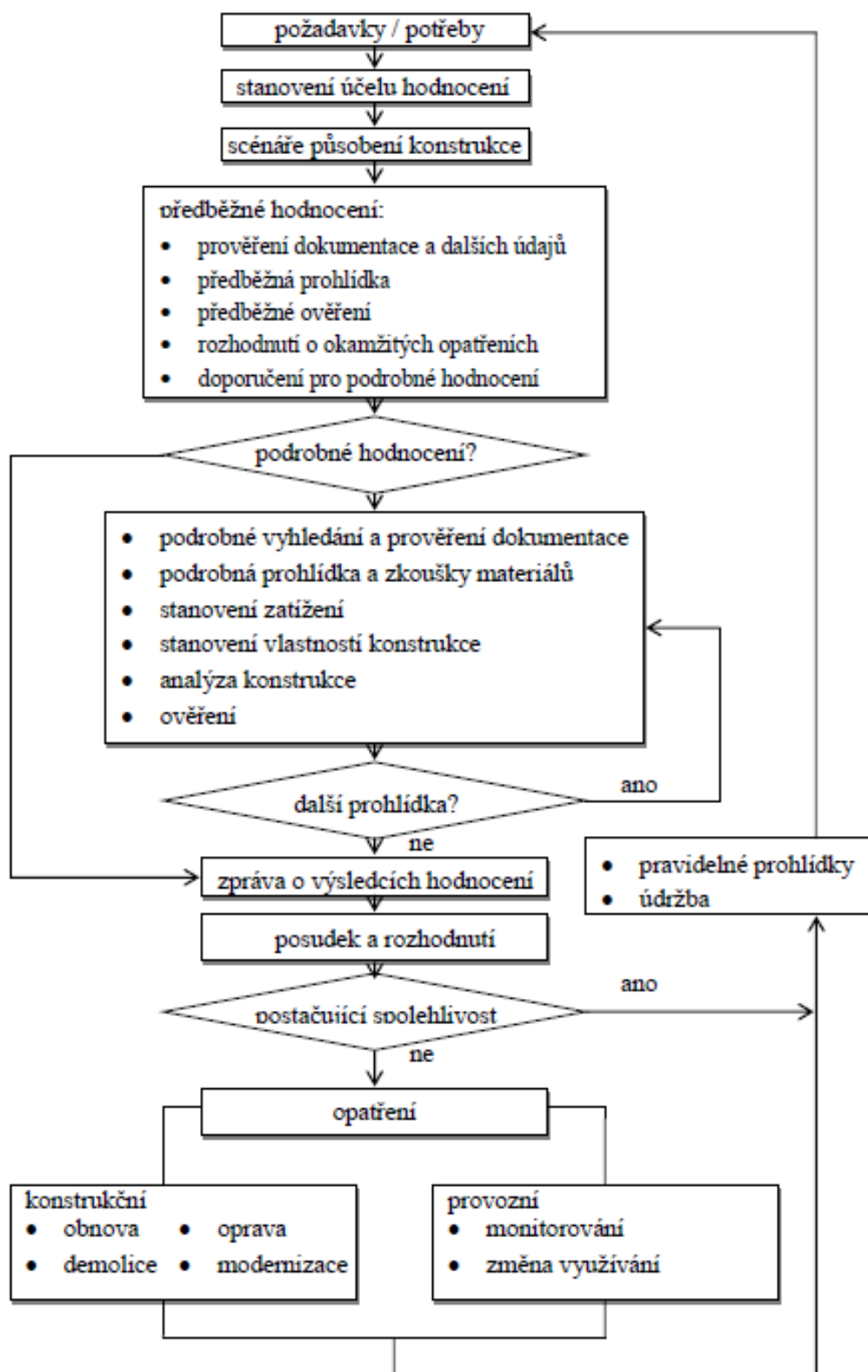
- úroveň bezpečnosti, která poskytuje odpovídající bezpečnost uživatelům konstrukce;
- úroveň trvale udržitelných funkčních vlastností, která poskytuje nepřetržitou funkčnost pro speciální konstrukce (nemocnice, významné budovy, klíčové mosty, atd.);
- požadavky objednavatelů na speciální funkční vlastnosti, týkající se ochrany vlastnictví nebo použitelnosti.

11.1.2. Postup hodnocení

Postup závisí na účelu hodnocení a na specifických okolnostech (např. dostupnost projektové dokumentace, na zjištěných škodách, na způsobu využívání konstrukce, apod.) Před zahájením hodnocení se doporučuje prohlídka stavby.

Hodnocení se provádí s ohledem na současný stav konstrukce, které lze popsat vývojovým diagramem (obr. 23) a obecně se sestává z následujících kroků [1]:

- a) stanovení účelu hodnocení;
- b) scénáře;
- c) předběžné hodnocení;
- d) podrobné hodnocení;
- e) výsledky hodnocení;
- f) v případě potřeby se postup opakuje – tzv. doplňkový průzkum. [1]



Obrázek 23 Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [1]

11.2. Předběžný průzkum

Zahrnuje předběžnou prohlídku a vizuální kontrolu zkoumaného objektu, či konkrétní konstrukce. Účelem je stanovit identifikaci konstrukčního systému a možné poškození konstrukce (např. viditelné deformace, trhliny, koroze, hniloba, porucha statické funkčnosti konstrukce apod.). [18]

Podle normy ČSN ISO 13822 [1] se předběžné hodnocení stávající konstrukce skládá z těchto kroků:

- **studium dokumentace a dalších údajů** – ověření aktuálnosti dokumentace a správnost informací o předchozích konstrukčních opatřeních, případně studium zprávy stavebně historického průzkumu;
- **předběžná prohlídka** – účelem je identifikace konstrukčního systému a možného poškození konstrukce pomocí vizuální prohlídky a jednoduchých nástrojů, výsledkem je vyjádření kvalitativního zatřídění stavu konstrukce podle jejího poškození (např. žádné, menší, mírné, závažné, destrukční, neznámé);
- **předběžné ověření** – účelem je identifikace kritických nedostatků s ohledem na budoucí bezpečnost a použitelnost konstrukce, na základě získaných výsledků z výpočtového modelu se posoudí nutnost dalšího průzkumu;
- **rozhodnutí o okamžitých opatřeních** – zahrnuje návrh nezbytných opatření pro zajištění bezpečnosti konstrukce z důvodu podchycení jasně nebezpečného stavu konstrukce;
- **doporučení pro podrobné hodnocení** – se provádí v případě, že se vyskytnou nejasnosti v zatížení, v účincích zatížení nebo ve vlastnostech konstrukce; [1]

Předběžný průzkum je tvořen především souhrnem *smyslových metod*, které tvoří:

- **zraková (vizuální) metoda** – zjištění poškození dřeva dřevokazným hmyzem, dřevokaznými houbami, tvarových deformací, projevů vlhkosti, viditelný trhlín, aj;
- **čichová metoda** – zjištění přítomnosti hub a plísní, následků požárů či zvýšené vlhkosti v objektu;
- **hmatová metoda** – zjištění povrchového poškození dřeva (trhliny, plastická textura), vyššího stupně poškození dřeva (hniloba, požerky apod.);

- **sluchová metoda** – zjištění přítomnosti larev dřevokazného hmyzu, poruch dřevěného prvku na základě odezvy na poklep (vnitřní hniloba, požerky), zvukových anomálií při dynamickém namáhání konstrukce větrem nebo jinými vlivy. [21]

11.3. Podrobný průzkum

Zpravidla zahrnuje odběr zkušebních vzorků, využití zkušebních metod, analýzu kritických míst stavby nebo území, hodnocení výsledků podrobného průzkumu a to například určení pevnosti, vlhkosti, či objemové hmotnosti atd. Podrobný průzkum se provádí na základě doporučení z předběžného průzkumu za pomoci využití zkušebních metod, které slouží k získání kvantitativních dat. Na základě těchto dat zjišťujeme stupeň poškození a jeho důsledky. [18]

Dle normy ČSN ISO 13822 [1] je definován tento postup při podrobném hodnocení konstrukce:

- **podrobné vyhledání a prověření dokumentace** – zaměření na kontrolu dokumentace stavby (výkresy, statický výpočet, stavební deník, aj.);
- **podrobná prohlídka a zkoušky materiálů** – uskuteční se v případě jakýchkoli pochybností o zjištěných vadách, provede se ověření konstrukčních detailů, rozměrů konstrukce a vlastností materiálů aj.;
- **stanovení zatížení** – se provádí dle platné normy ČSN ISO 2394;
- **stanovení vlastností konstrukcí** – je provedeno na základě zkoušek, které jsou uvedeny v aktuálně platných normách;
- **analýza konstrukce** – stanovuje účinky zatížení na konstrukci dle platné normy ČSN ISO 2394;
- **ověření** – se provádí za účelem zabezpečení směrné úrovně spolehlivosti a funkčnosti konstrukce dle současně platné normy ČSN ISO 2394. [1]

Podrobný průzkum zahrnuje tyto druhy zkoušek:

- **nedestruktivní zkoušky** – jedná se o neinvazivní metody, což znamená, že v rámci těchto zkoušek není nutný zásah do konstrukce;
- **semidestruktivní zkoušky** – při provádění těchto zkoušek dochází pouze k minimálnímu poškození zkoumaného dřevěného prvku;
- **destruktivní zkoušky** – provádění těchto zkoušek probíhá v laboratořích, jsou závislé na odebrání části, nebo celého prvku z konstrukce.

V případě nutnosti doplnění dat se může provést **doplňkový průzkum**, který se provádí při nejistotách, chybějících datech, či pro kontrolu provedených průzkumů.

11.4. Výsledky hodnocení

Výsledné hodnocení je zpracované ve formě zprávy. Zpráva musí obsahovat přísné a logické posudky, které vyplývají z pečlivého zhodnocení získaných informací. Vhodné je také uvést stručný popis přesnosti a omezení použitých metod a skutečný význam výsledků. [1]

12. Diagnostické metody dřevěných konstrukcí

Kvalitní diagnostika dřevěných konstrukcí využívá nejen běžné diagnostické metody, ale i velmi sofistikované metody, jejichž provádění může být velice nákladné. Nicméně často poskytují přesná data i při sníženém rozsahu nebo při úplném vyloučení destruktivních sond, což je u památkových staveb velice oceňováno. Ve výsledku může dojít k výraznému snížení celkové ceny za průzkum, z důvodu úspory za náklady na bourací a opravné práce.

Diagnostika dřevěných konstrukcí je z hlediska zajištění jejich spolehlivosti a bezpečnosti velice důležitá. Díky těmto metodám můžeme zjistit a posoudit jednotlivé anomálie či vady dřevěných konstrukcí. [16]

Základní rozdělení diagnostických metod pro posouzení stavu dřevěných konstrukcí:

Nedestruktivní metody:

- vizuální hodnocení;
- ultrazvuková průchodová metoda;
- měření vlhkosti;
- radiometrie;
- radiografie.

Semidestruktivní metody:

- odporové zarážení trnu;
- odporové mikrovrtání;
- vytahování vrutu;
- zatlačování trnu;
- zkoušení radiálních vývrtů;
- zkoušení tahových mikro-vzorků;
- zatlačování kuličky;
- Baumannovo kladívko;
- endoskopie.

Destruktivní metody:

- odběr vzorků pro laboratorní zkoušky např. pevnosti apod. [16]

12.1. Nedestruktivní metody

12.1.1. Vizuální hodnocení

Při průzkumech na dřevěných konstrukcích je nejčastěji používanou metodou vizuální prohlídka, zejména díky její jednoduchosti. Vizuální kontrola je vhodná zejména pro identifikaci kritických míst, které se poté musí detailněji zhodnotit pomocí nedestruktivních přístrojových metod.

Vizuální hodnocení je vhodnou metodou pro preventivní prohlídky, které by měly být prováděny v pravidelných intervalech tak, aby se předešlo zanedbání údržby, která může výrazně ovlivnit životnost konstrukce. [16]

Identifikovat vizuální metodou lze:

- trhliny;
- poškození požárem;
- zvýšení vlhkosti dřeva;
- poškození konstrukčních spojů;
- poškození dřevokazným hmyzem či houbami;
- povrchové poškození povětrnostními vlivy;
- identifikace mechanického poškození. [16]

12.1.2. Měření vlhkosti

Měření vlhkosti (MC – moisture content) je velice důležitou metodou pro správné třídění a kalibraci výsledků ostatních diagnostických metod, jelikož vlhkost má velký vliv na mnohé vlastnosti dřeva. Vysoká vlhkost u dřevěných stavebních konstrukcí způsobuje velké riziko jejich biotického poškození. Jedná se o napadení dřevokazným hmyzem, či růstem dřevokazných hub.

Vlhkost dřeva je taková vlastnost, která obvykle není stejná v rámci celého prvku a také se může měnit v průběhu času, jelikož je závislá na změně relativní vlhkosti i teploty okolního vzduchu.

Vlhkost představuje množství vody ve dřevní hmotě a je definována jako podíl hmotnosti vody ve dřevě a hmotnosti absolutně suchého dřeva [16]:

$$MC = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

kde, MC je vlhkost dřeva [%];

m_w hmotnost vlhkého dřeva [kg];

m_0 hmotnost absolutně suchého dřeva [kg].

Z výše uvedených důvodu je vlhkost velice důležitým parametrem při neinvazivním i částečně invazivním hodnocením posuzovaných prvků.

Pro stanovení vlhkosti dřeva využíváme několik způsobů, které dělíme na přímé a nepřímé. Nejpresnější přímá metoda je gravimetrická, která je založena na odběru přesně definovaného vzorku s následným zvážením ve vlhkém a absolutně suchém stavu. Jedná se o metodu

poměrně destruktivní a vyžaduje čas na vysušení vzorku, z tohoto důvodu je těžko proveditelná IN SITU.

Při provádění diagnostiky zabudovaných prvků používáme především nepřímou metodu pomocí příručních vlhkoměrů. Tyto přístroje jsou kalibrovány na zjišťování vlhkosti s ohledem na druh dřeva a na teplotu během měření. Vlhkoměry dle principu jejich pracovního postupu rozdělujeme na odporové, kapacitní, absorpční a mikrovlnné. Nejpoužívanější vlhkoměry v praxi jsou odporové, využívající elektrický jednosměrný odpor a rozdílnou vodivost dřevěného materiálu s různou vlhkostí (viz. obr. 24).



Obrázek 24 Elektrický odporový vlhkoměr [34]

Vyjádření výsledků je závislé na mnoha faktorech, především na druhu dřeva, orientace vláken, na rozložení přirozených vad či teplotě. Výsledky měření mohou být také ovlivněny přítomností různých konzervačních, nebo chemických látek. Ty mohou způsobovat nepřesnost měření a vyžadují tak speciální kalibraci přístroje. [16]

12.1.3. Ultrazvuková průchodová metoda

Jedná se o metody využívající průchodu akustických vln dřevem, přičemž nejčastějšími zjišťovacími parametry jsou čas průchodu nebo rychlost šíření vlnění, případně útlum a frekvenční spektrum. Tento způsob neinvazivního zkoušení slouží pro odhalování vnitřních dutin, změnu vlastností konstrukčních prvků a pro odvození mechanických vlastností jako je výpočet dynamického modulu pružnosti, korelace s jednotlivými mechanickými parametry aj. Akustické vlny zahrnují frekvence ve slyšitelné oblasti, avšak i ultrazvukové vlny v neslyšitelné oblasti a to s frekvencí nad 20 000 Hz. Šíření vln dochází za pomoci kmitavého

pohybu hmotných částic, díky elastickým vlastnostem materiálu. Pro lokalizaci míst s poškozením hraje důležitou roli vlnová délka, kdy platí, že nelze zjistit vady menší než je polovina vlnové délky vyvolaného signálu. Ultrazvukové vlnění má proto lepší schopnost zachytit jemné vnitřní dutiny a vady než vlny zvukové. [16]

Základními vlastnostmi vlnění jsou frekvence a vlnová délka, která je nepřímo úměrná frekvenci. Vztah rychlosti vlny, vlnové délky a frekvence je dán [16]:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

kde, λ je vlnová délka [m];
 f frekvence [Hz] = [s⁻¹];
 v rychlost šíření [m·s⁻¹].

Rychlost vln je hlavní parametr pro neinvazivní hodnocení. Rychlost se určí vztahem (3) dle [16]:

$$v = \frac{l}{t} \quad (3)$$

kde, λ je vlnová délka [m];
 f frekvence [Hz] = [s⁻¹];
 v rychlost šíření [m·s⁻¹].

Rychlost vlnění může informovat o stavu materiálu. Při zhoršeném stavu materiálu dochází k redukci objemové hmotnosti a snížení jeho tuhosti (modulu pružnosti). Rychlost vlnění, které prochází homogenním materiálem, je rovna druhé mocnině z podílu dynamického modulu pružnosti a hustoty materiálu. Výpočet dynamického modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny lze provést na základě známé rychlosti šíření a objemové hmotnosti dřeva ze vztahu (4) dle [16]:

$$E_{dyn} = v^2 \cdot \rho \quad (4)$$

kde, E_{dyn} je dynamický modul pružnosti [Pa];
 v rychlost šíření [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];
 ρ hustota dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

V ostatních směrech má stanovení modelu pružnosti složitější charakter. Ultrazvuková technika využívá jako měniče piezoelektrického materiálu, obvykle křemenného krystalu, který převádí elektrickou energii na vlnový signál usměrňovaný do materiálu. Tento systém sběru dat se skládá z detektoru signálu, analyzátoru a rekordéru, který shromažďuje a uchovává informace pro další analýzu.

Mezi ultrazvukové přístroje určené pro měření dřevěných materiálů patří např. Pundit, Fakopp Ultrasonic Timer (viz. obr. 25), Sylvatest a Tico. [16]



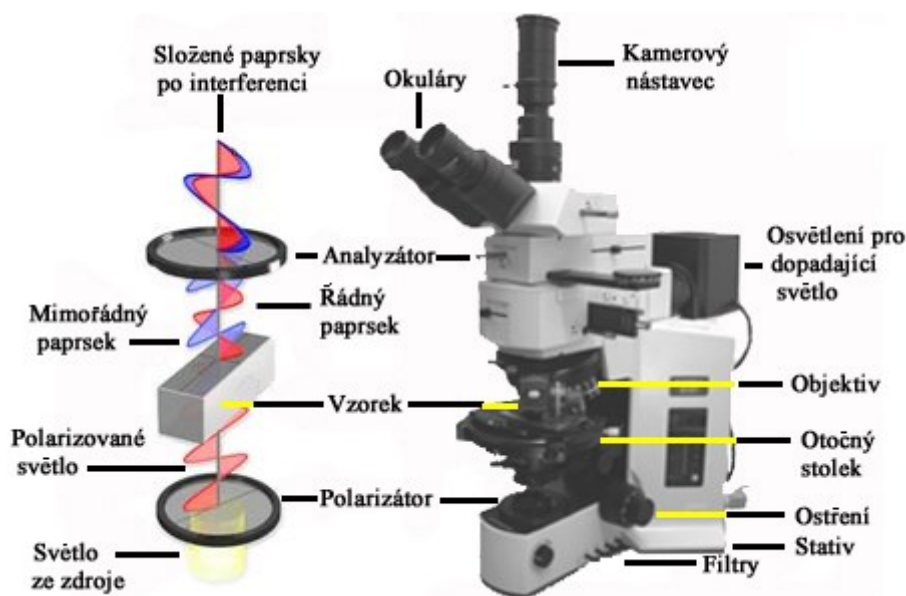
Obrázek 25 Fakopp 2D umístěn na dřevěném sloupku [16]

12.1.4. Sluchová metoda

Touto metodou zjišťujeme přítomnost larev a jedinců dřevokazného hmyzu. Dále je možné určit poruchy dřevěného prvku na základě odezvy poklepu a poruchy v konstrukci díky různým zvukovým anomáliím při dynamickém namáhání větrem. [16]

12.1.5. Metody s využitím optických přístrojů

Pro jejich provedení je vyžadováno mikroskopů optických, světelných a polarizačních (viz. obr. 26), pomocí kterých určujeme přítomnost kukel, larev, vajíček a výtrusů hub na prvcích dřevěné konstrukce.



Obrázek 26 Polarizační mikroskop [38]

12.2. Semi-destruktivní metody

Zásah do prvku konstrukce je v těchto případech velmi malý. Destrukce při měření je téměř zanedbatelná, např. při provádění vývrtů apod., takže narušení stability a funkčnosti prvků konstrukce se nepředpokládá. Výsledky z měření semi-destruktivními metodami jsou objektivnější než u provádění nedestruktivních metod. [16]

12.2.1. Odporové zarážení trnu

Jedná se o měření mechanického odporu dřeva pomocí jednoduchého zarážecího zařízení, které lze zařadit mezi částečně invazivní metody. Poškození zkušebního prvku je velmi malé. Měření provádíme pomocí přístroje Pilodyn 6J (viz. obr. 27). Jedná se o jednoduché mechanické zařízení měřící hloubku zaražení trnu o průměru 2,5 mm. Délka trnu je 40 mm, váha přístroje činí 1,55 kg, délka přístroje 335mm a průměr 50 mm. [16]



Obrázek 27 Pilodyn 6J [36]

Po provedení penetrace trnu do povrchu materiálu můžeme provést odečet hloubky zaražení trnu na stupnici pilodynů. Tato metoda také slouží pro rychlý a částečně invazivní odhad hustoty dřeva, která souvisí s jeho tvrdostí. U zdravých i napadených částí dřevěného prvku můžeme z výsledků pilodynů a hodnot příslušných vlhkostí w a pomocí experimentálních 5 % regresních rovnic určit hustotu ρ_{12} při 12 % vlhkosti, pevnost f_m a modul pružnosti dřeva E_{stat} . [30]

$$w = w - 12 \quad (5)$$

$$t_{p,12} = t_p \cdot (1 - 0,007 \cdot \Delta w) \quad (6)$$

$$\rho_{12} = -0,27102 \cdot t_{p,12} + 0,727987 \quad [30] \quad (7)$$

$$f_m = -36,13 + 0,156743 \cdot \rho_{12} \quad (8)$$

$$E_{stat} = -14441,49 + 55,7834 \cdot \rho_{12} \quad (9)$$

kde, w je vlhkost dřeva stanovená odporovou metodou [%];

Δw rozdíl změřené vlhkosti od vlhkosti 12 %, může nabývat záporných hodnot [%];

t_p hloubka penetrace Pilodynem 6J [mm];

$t_{p,12}$ hloubka penetrace Pilodynem 6J při 12 % vlhkosti [mm];

ρ_{12} hustota dřeva při 12 % vlhkosti [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

f_m pevnost v tahu za ohybu rovnoběžně s vlákny při 12 % vlhkosti [MPa];

E_{stat} statický modul pružnosti při 12 % vlhkosti [MPa].

Využití metody pilodyn je omezené, jelikož námi naměřené údaje vypovídají o poškození prvku jen do hloubky, která je omezena trnem. Tato hloubka bývá málokdy dostačující.

Metodu prováděnou pomocí pilodynu se doporučuje doplnit o další zkoušky, jelikož měření je značně ovlivňováno vlhkostí prvku i směrem zaražení trnu (radiální a tangenciální). [16]

12.2.2. Odporové mikrovrtání

Diagnostiku prováděnou pomocí odporového mikrovrtání, můžeme zařadit mezi částečně invazivní ověřování stavu dřevěných konstrukcí. Provádí se za pomoci přístroje, který má název resistograph (viz. obr. 28).



Obrázek 28 Resistograph s příslušenstvím

Váha zkušebního přístroje je přibližně 3 kg. Zkoušecí část přístroje je opatřena flexibilními wolframovými vrtáky o průměru 1,5 – 3,0 mm. Délka vrtáku se odvíjí dle typu zařízení a výrobce. Vrtáky mají speciálně upravené hroty pro snímání odporu dřeva. Dřík vrtáku je stabilizován teleskopem uvnitř vrtného zařízení. [16]

U této metody dochází pouze k minimálnímu poškození dřevěných prvků. Princip zkušební metody je založen na odporovém vrtání, při němž je měřena energie, kterou je potřeba k udržení konstantní rychlosti vrtáku při vrtání přes profil. Za pomoci kterého je možno stanovit kvalitu dřevěných prvků v rozsahu jejich celého průřezu. Odpor vrtání je definován vztahem (10) dle [16]:

$$RD = \frac{T_n}{\omega} \quad (10)$$

kde, RD je odpor vrtání [$\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$];

T_n točivý moment [Nm];

ω úhlová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$].

Kloiber [16] uvádí porovnání mezi destruktivními testy a odporovým vrtáním. Odporová charakteristika RM (Resistance Measure) je určena dle následujícího vztahu (11) dle [16]:

$$RM = \frac{\int_0^h A dx}{h} \quad (11)$$

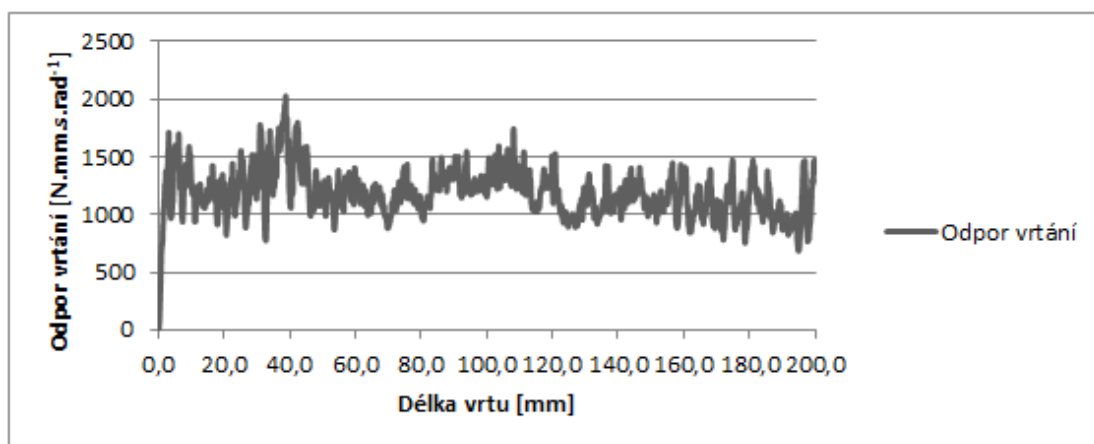
kde, RM je odporová charakteristika [mm];

A plocha pod křivkou [mm^2];

h délka měřeného úseku [mm].

Výsledkem měření je záznam s grafickým přehledem (viz. obr. 29). Měření je ovlivňováno vlhkostí dřeva, směrem vrtání, kvalitou a ostrostí vrtáku, ohybovou tuhostí vrtáku a vybočením vrtáku během vrtání. Touto diagnostickou metodou lze velmi dobře lokalizovat a identifikovat rozsah vnitřního poškození (např. hnilobu dřeva, poškození hmyzem) nebo přirozené vady dřeva (např. trhliny, suky).

Každý bod na grafu odpovídá naměřenému odporu (hustotě dřeva) v daném místě průřezu, což způsobuje kolísavost grafu. Ta bývá způsobena střídáním letního a jarního dřeva nebo výskytem již zmíněných anomálií ve dřevě. [16]

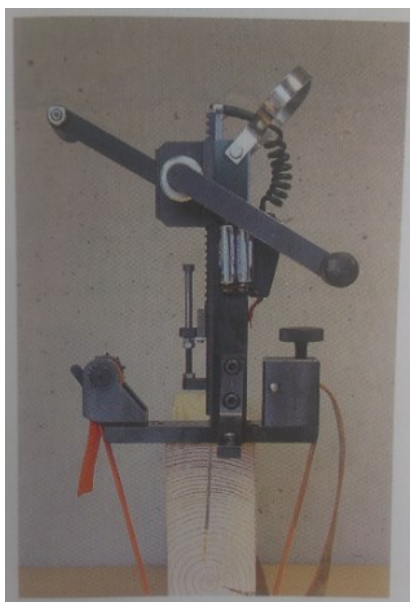


Obrázek 29 Příklad záznamu z měření pomocí resistographu (dřevo jehličnanu)

12.2.3. Zatlačování trnu

Tento druh zkoušky je prováděn přístrojem, který byl vyvinut ve spolupráci s Ústavem teoretické a aplikované mechaniky AV ČR a Ústavem nauky o dřevě Mendelovy univerzity v Brně. Tento přístroj umožňuje stanovení mechanického odporu vůči pozvolnému vnikání tělesa do dřeva.

Zkušební zařízení (viz. obr. 30) se k testovanému prvku upevňuje pomocí různých způsobů např. textilním popruhem, opásáním pomocí řetězu nebo pomocí spojovacích vrutů. Kolmo k základně přístroje je do zkoumaného prvku vtlačén trn o průměru 2,5 mm, jehož dřík je zakončen pŭlkulatým hrotem o průměru 3 mm (viz. obr. 31). [16]



*Obrázek 30 Přístroj pro měření
mechanického odporu dřeva
při zatlačování trnu [16]*



*Obrázek 31 Detail průniku trnu
materiálem [16]*

Mechanismus zatlačování probíhá pomocí ozubeného hřebenu a ozubeného kola, které je poháněno obouručně pomocí dvou proti sobě uložených klik. Během zatlačování je snímána působící síla, která je vztažena k měřené dráze. Výsledkem měřícího programu je měřená hodnota síly v závislosti na posuvu trnu.

Tato metoda ve srovnání s běžně používaným mělce zaráženým trnem pilodynou, poskytuje informace o větším průřezu zkoumaného prvku a umožňuje identifikovat vnitřní vady skryté hluboko pod povrchem dřeva. Pomalý průběh zatlačování umožňuje kvantifikaci vad a poruch do hloubky 110 mm. [16]

12.2.4. *Vtiskací tvrdoměrná metoda*

Tvrlost dřeva je vlastnost, kterou můžeme definovat jako schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do jeho struktury. Tato vlastnost má velký význam při opracování dřeva řeznými nástroji jako je: řezání, loupání, hoblování a frézování.

Podle způsobu zatížení rozlišujeme tvrdost dřeva na statickou a dynamickou. Na základě této vlastnosti lze posuzovat stav povrchového poškození u zkoumaných prvků, které jsou zabudované do dřevěné konstrukce. Pro určení průměrných hodnot tvrdosti dřeva použitého v zabudované konstrukci se využívá statické tvrdosti dřeva.

Ověřování statické tvrdosti dřeva spočívá v zatlačování ocelové kuličky daného průměru statickým zatížením na čelních, radiálních a tangenciálních plochách dřeva. Statickou tvrdost dřeva můžeme ověřit dvěma metodami – podle Brinella a podle Janky. [16]

Brinellova tvrdost

Tato metoda spočívá v zatlačování ocelové kuličky o průměru 10 mm konstantní silou, která se odvíjí od tvrdosti dřeva. U velmi měkkých je to 100 N, u středně tvrdých 500N a u tvrdých dřev 1000 N. Z průměru otláčené plochy a průměru kuličky se provede výpočet tvrdosti (H_B), která je dána hodnotou napětí vztahem (12) dle [16]:

$$H_B = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (12)$$

kde, H_B je Brinellova tvrdost [MPa];

F síla působící na kuličku [N];

D průměr kuličky [mm];

d průměr otláčené plochy ve dřevě [mm].

Jankova tvrdost

Janka upravil zkoušku tvrdosti dřeva dle Brinella tak, že tvrdost je zjišťována na základě síly, která je zapotřebí při statickém zatížení k tomu, aby se ocelová polokulička zcela zatlačila do povrchu dřeva. Tato metoda spočívá v zatlačování polokuličky o průměru 11,28 mm do hloubky 5,64 mm, čímž vznikne otláčení o ploše 100 mm². Síla, která je potřebná k zatlačení polokuličky přímo udává tvrdost dřeva vztahem (13) dle [16]:

$$H_J = \frac{F}{S} \quad (13)$$

kde, H_J je Jankova tvrdost [MPa];

F síla potřebná k zatlačení polokuličky [N];

S otláčená plocha [100 mm²].

12.2.5. Baumannovo kladívko

Jedná se o druh měření určující dynamickou pevnost dřeva. Tento typ měřicího zařízení (viz. obr. 32) se skládá z pružiny a ocelové kuličky. Ocelová kulička o průměru 10 mm je vtlačována do zkoušeného prvku úderem razníku. Měří se průměr vtisku d_{mat} , který zůstane na povrchu zkušebního prvku. Za pomoci lupy s měřítkem, se provede změření průměru ve dvou kolmých směrech, vytvořeného vtiskem kuličky do zkušebního materiálu d_1 [mm] a d_2 [mm]. Z těchto dvou změřených hodnot provedeme aritmetický výpočet průměru d [mm]. Tvrdost materiálu je určena pomocí hodnoty d z tabulek. Tabulky jsou součástí měřicího vybavení. [41]



Obrázek 32 Baumannovo kladívko [41]

12.3. Destruktivní metody

Destruktivní metody zkoušení nám zpřesní výsledky nedestruktivního nebo semidestruktivního zkoušení vlastností, které mohou vykazovat určité nepřesnosti. Tyto zkoušky, jsou prováděny dle norem (nejčastěji ČSN EN 384 a ČSN EN 408) – pro standardní zkušební tělesa. V případě, kdy není umožněn větší odběr vzorku z konstrukce, a je k dispozici pouze menší množství vzorků, provádí se zkoušení malých bezvadých těles dle normy ČSN 49 0110. Tyto normy nám slouží k přímému určení některých fyzikálně - mechanických vlastností (např. pevnost v tlaku rovnoběžně a kolmo na vlákna, pevnost v ohybu, pevnost v tahu).

Pevnost v tlaku

Pro oblast diagnostiky se nejčastěji používá zkoušení malých bezvadých těles (viz. obr. 33), které je dle normy ČSN EN 384 povoleno jen pro listnaté dřeviny. Pro účely upřesňující vztahy mezi destruktivním a nedestruktivním zkoušením je ovšem tato zkouška používána i pro jehličnaté dřeviny. V tomto případě lze použít menší množství těles. Zkoušky jsou prováděny na vzorcích bez suků, smolnatosti či jiných vad, které by ovlivnily výsledky měření.



Obrázek 33 Zkouška v prostém tlaku rovnoběžně s vlákny

Pevnost v tlaku ve směru vláken v [MPa] se vypočte ze vztahu (14) dle [7]:

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad (14)$$

kde, σ_w je pevnost v tlaku v směru vláken [MPa];

F_{max} nejvyšší zatížení při porušení [N];

$a \cdot b$ plocha, na kterou působí zatížení [mm²].

Pevnost v tlaku kolmo na vlákna v [MPa] se vypočte ze vztahu (15) dle [8]:

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{a \cdot l} \quad (15)$$

kde, σ_w je pevnost v tlaku kolmo na vlákna [MPa];

F_{max} nejvyšší zatížení při porušení [N];

$a \cdot l$ plocha, na kterou působí zatížení [mm²].

Pevnost v ohybu

Pevnost v ohybu je schopnost dřeva odolávat zatížení, je-li materiál podepřen a síla působí mimo tyto podpěry. Pevnost v ohybu pro malá bezvadná tělesa je zkoušena dle ČSN 49 0115.

Pevnost v ohybu v [MPa] se vypočte ze vztahu (16) dle [9]:

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (16)$$

kde, σ_w je pevnost ve statickém ohybu [MPa];

F_{max} nejvyšší zatížení při porušení [N];

b šířka zkušebního tělesa [mm];

h výška zkušebního tělesa [mm];

l vzdálenost mezi středy podpor [mm].

II. Praktická část

13. Diagnostika historické dřevěné konstrukce

Praktická část mé bakalářské práce je zaměřena na podrobné zkoumání historické dřevěné konstrukce s využitím přístrojové techniky, s výsledným porovnáním a vyhodnocením naměřených hodnot.

Vzhledem k výše uvedenému záměru byl pro zpracování související problematiky vybrán historický dřevěný krov hlavní budovy Zámku Paskov, který se nachází ve městě Paskov. Paskov se rozléhá na území Moravy v Ostravské pánvi a to v části Podbeskydské pahorkatiny nedaleko města Ostrava. Objekt Paskovského Zámku je umístěn přibližně ve středu města naproti obecnímu úřadu.

Po provedení stavebně technického průzkumu je přistoupeno k popisu aplikace přístrojových diagnostických metod, zejména pro určení pevnostních vlastností jednotlivých prvků historického dřevěného krovu zámku.

14. Stavebně technický průzkum

14.1. Předběžný průzkum

Předběžný průzkum zámku proběhl v červnu roku 2015 a byl proveden dle plného rozsahu jak je uvedeno v teoretické části bakalářské práce (viz. kapitola 11.2.). Během tohoto průzkumu byly využity vizuální, hmatové a sluchové metody za pomoci fotoaparátu, čelové svítilny, svinovacího metru a dláta.

14.1.1. Studium dokumentace

Pro uvedení věrohodných informací, týkajících se historie objektu zámku, byl zvolen stavebně historický průzkum Zámku v Paskově provedený Mgr. Lucií Augustínkovou, společně s projektovou dokumentací. Tyto podklady poslouží jako zdroj základních informací o historii, úpravách či opravách zámku v průběhu jeho životnosti.

Stavebně historický průzkum

První zmínka o Paskovu pochází z roku 1267 ze závěti olomouckého biskupa Bruna ze Schaumburgu. Paskov byl v období 13. stol. nedílnou součástí biskupského zboží na severovýchodní Moravě. Také byl střediskem lenního statku, který obléhala řada vsí.

Prvním zmíněným leníkem byl dle paskovské kroniky Petr, syn Heroldův v roce 1270, avšak prvním písemně doloženým byl Jan Stange v roce 1300. Jan Stange dostal v témže roce lénem „villan nostram Pascow, ultra Stariz sitam“ (naši ves Paskov pod Staříčí) výměnou za Liptaň na Osoblažsku. Paskovská kronika uvádí, že již tehdy zde existovala tvrz. Od této doby bylo léno drženo jako dědičné v mužské linii. Poté Paskov prošel pod ruky řadou leníků, kteří když se zasedlili v Paskově, museli zde mít nějakou tvrz.

V roce 1538, v době před třicetiletou válkou, byl Paskov povýšen na městečko, přičemž se obec rozdělila na dvě části s vlastními purkmistry. Rozdělení bylo provedeno na ves Paskov (zvanou Hůrky) a městečko Paskov. Avšak Paskov statut městečka obdržel již na konci 15. stol. Tyto dvě části byly o nedlouho spojeny. V průběhu 18. století se obce znovu rozdělily a na konci 19. stol. se obě obce opět spojily v politickou obec Městys Paskov. [12]

Od roku 1267, kdy pochází první písemný záznam o Paskovu společně s přiléhajícími obcemi a stavbami, prošel nynější zámek složitým vývojem.

Historie přestavby tehdejší středověké tvrze na zámek je spekulativní, jelikož soudobé písemné prameny, které by datovaly změny, se bohužel nedochovaly. Dle většiny autorů se výstavba zámku datuje k období po r. 1643. F. Linhart a další autoři udávají informace o stavbě zámku ke 2. pol. 17. stol., poté co byla v r. 1643 paskovská tvrz vypálená Švédy.

Z tohoto důvodu tak hlavním pramenem zůstává pozůstalost z r. 1650 Václava Bruntálského z Vrbna. V této pozůstalosti je jen malá zmínka o zámku, ale její obsah je velice důležitý: „*Das Schloss darinen das Obertheil aller Zimmer vorfindt abgebrant und riunirt.*“ (Zámek, v jehož horní části se nacházejí všechny pokoje, jsou vypálené a zničené.)

Vlastivědná literatura udává předpoklad o výstavbě zámku společně s předzámčím s nárožními rotundami, průjezdnou věží a jinými přiléhajícími stavbami v místě tehdejšího zasypaného vodního příkopu. Tato výstavba měla probíhat v letech 1640-1646 za Václava z Vrbna, v místě původní tvrze ve stylu raně barokní budovy s pozdně renesančními prvky.

Budova byla jednopatrová s vysokou zámeckou věží umístěnou na obdélném nároží. Tato věž byla odstraněna během oprav v 60. - 70. letech 19. století. K. Kuča a M. Plaček udávají informace o výstavbě zámku, který nabyl čtyřkřídle dispozice s pilířovými arkádami

v nádvoří, přičemž z původní tvrze zůstaly pouze silné zdi a věžovitá stavba v severním křídle zámku. [12]

Stavební materiál pro výstavbu byl dovážěn z nedalekého okolí. Například cihly z panských cihelen nad rybníkem Jedlovcem a Kubouněm a vápno z biskupských hukvaldských vápenek. Dle kronikáře K. Havránka během výstavby zámku byla zřízená také kaple s oltářem. Výstavba kaple byla dokončena v r. 1650, načež v letech 1770-1800 měla být zrušena.

Okolo nově postaveného objektu zámku byl zřízen také zámecký park.

Pověsti o výstavbě zámku udávají informace o tajné podzemní chodbě, která vedla až do bývalé řepišťské tvrze.

V roce 1869 zámek zastihla nemilá událost. Zámek vyhořel a při rekonstrukci byla zdemolovaná věž v západním křídle hlavní budovy. Zámek a původní boční vížky zámku dostaly dnešní podobu s novoklasicistními fasádami, vstupním rizalitem a balkonem.

Posledním držitelem paskovského panství se stal JUDr. Otto Stolberg, jehož rodina panství koupila v roce 1880. Dále pak v letech 1880-1926 se Stolberg zasloužil o nemalý rozvoj paskovského zámku. Provedl rekonstrukci zámku, zahrad a také se zasloužil o výstavbu domků, které sloužily jako obydlí lidí, kteří se starali o řádný technický chod zámku.

Po druhé světové válce, na základě Benešových dekretů, byl Stolbergův majetek vyvlastněn a od roku 1953 do roku 2004 byl pod správou Fakultní nemocnice Ostrava. Zámek byl přestavěn a upraven jako onkologické centrum. Poslední stavební úpravy byly provedeny v roce 1980 z důvodu rozšíření kapacity nemocnice. [12]

Nyní je zámek vyklizen a začala rekonstrukce zámku, která by neměla nijak zvlášť narušit historii a původ zámku.

V budoucnu by měl zámek sloužit jako knihovna, prostor pro výstavu uměleckých děl, a zároveň by měl sloužit jako naučné a vzdělávací zařízení pro školy v přírodě. Na část zámku sloužící tehdy jako jídelna zámku jsou vypracované projekty pro její rekonstrukci. Budoucí objekt by měl sloužit jako ubytování pro seniory, kteří by měli možnost využívat jak parku v zámku, tak i zrekonstruované skleníky v zahradě zámku. Zde by si aktivnější senioři mohli pěstovat okrasné rostliny, nebo zasadit zeleninu pro vlastní užití.

14.1.2. Předběžná prohlídka objektu

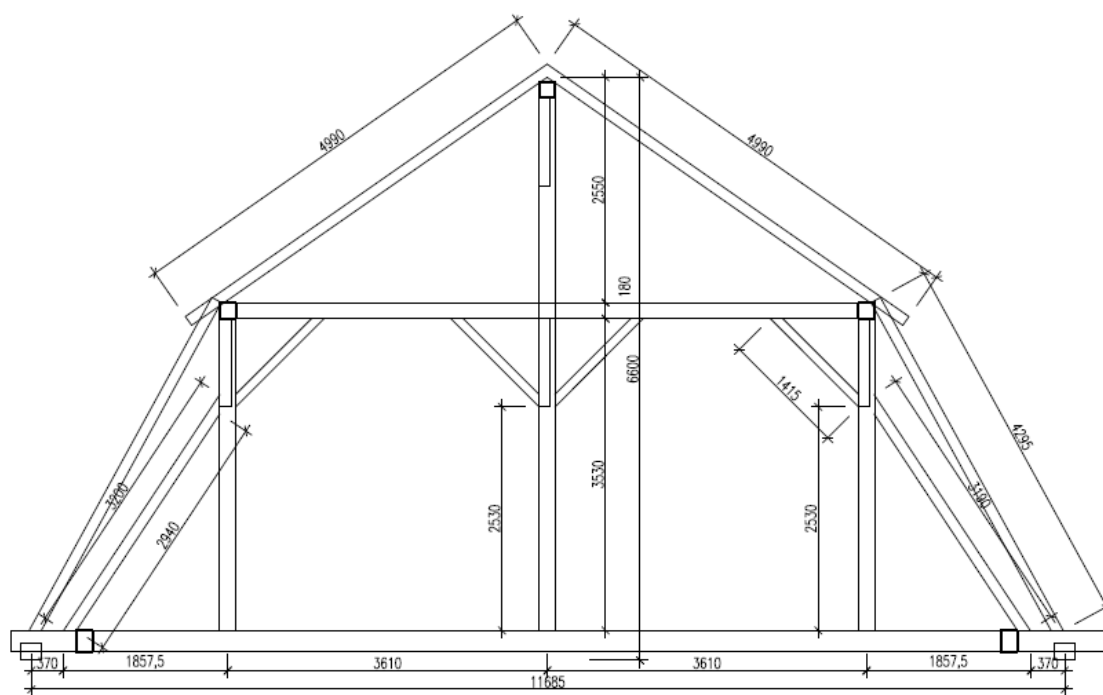
Hlavní budova zámku se nachází za vstupní budovou zámku, která je pozůstatkem tehdejšího předzámčí, tvořícího společně s nárožními rotundami tzv. opevnění zámku.

Hlavní budova (viz. obr. 34), postavená na místě původní tvrze, je konstituována do čtyřkřídlého mírně nepravidelného čtvercového půdorysu, uprostřed tvořícího nádvoří, které je v dnešní době zastřešeno. Dispozice tohoto zámku charakteristiky poukazuje na nepravidelnosti spojené s připojením staršího sídla. Jedná se o patrovou budovu s jedním podzemním podlažím, dvěma nadzemními a podkrovím. Hlavní budova je zastřešena mansardovou střechou.



Obrázek 34 Hlavní budova zámku

Již při výstupu na půdu zděným schodištěm z 2. NP byl dle charakteristických prvků určen typ použitého krovu na zastřešení zámku. Jedná se o vaznicovou soustavu tvořenou stojatou stolicí se vzpěrami (viz. obr. 35). Na základě vizuální prohlídky usuzuji, že na konstrukci krovu byl využit jehličnatý druh dřeviny, zřejmě se jedná o modřínové nebo jedlové dřevo.



Obrázek 35 Schématický příčný řez krovu

Zpočátku se krov zdál být zachovalý a bez výraznějších degradací, avšak v průběhu prohlídky celého půdního prostoru bylo postupně objevováno viditelné lokální poškození krovu.

První viditelné poškození se nacházelo v místě nad schodišťovým prostorem, které bylo zjevně způsobené poškozením oplechování úžlabí střechy, v místě styku dvou střešních rovin. Zde docházelo k zatékání srážkové vody pod krytinu a voda tak prosakovala přes střešní záklop do konstrukce krovu (viz. Výkres č. 1 – sonda D1).

Vlivem zatékání je postižena poměrně velká část krovu v místě, kde dochází ke styku několika prvků krovu. Postiženy jsou sloupek, vaznice, krokve, vzpěry, hambálek (viz. obr. 36). S rostoucí vlhkostí dochází k vytváření vhodných podmínek pro dřevokazné houby, které se za zvýšené vlhkosti šíří a poškozují tak dřevo. Z tohoto důvodu by tak mohlo dojít k biologickému napadení postižených prvků vlivem zatékání.



Obrázek 36 Zatékání srážkové vody

Dalším kritickým místem (viz. Výkres č. 1 – sonda D4) byla degradovaná pozednice (viz. obr. 37). Jelikož se jedná o část krovu, která zcela leží na zdivu, pravděpodobně došlo ke zvýšení její vlhkosti, a tím pádem pozdějšímu výskytu, rozmnožení dřevokazných hub. Zvýšení vlhkosti došlo pravděpodobně z důvodu nepřítomnosti jakékoli izolační vrstvy mezi zdivem a pozednicí. Příčinu zatékání srážkové vody vylučuji, jelikož z vizuální prohlídky je možno určit, že tato oblast krovu a střešního záklopu nad pozednicí je suchá, bez známek vnikání vody. Vlivem degradace pozednice došlo ke ztrátě podepření dvou vazných trámů a tak k jejich rozpojení od vzpěr a krokví.



Obrázek 37 Degradace pozednice

Při průchodu půdou se nedalo nevšimnout značné degradace vazného trámu plné vazby (viz. Výkres č. 1 – sonda D3). Jelikož se nad tímto místem nacházelo střešní okno, je pravděpodobné, že degradované místo bylo vystavené po určitou dobu působení srážkové vody a tak ke zvýšení jeho vlhkosti. I v tomto případě je patrné biotické poškození, způsobené pravděpodobně tesaříkem krovovým i hnilobou. (viz. obr. 38).



Obrázek 38 Degradace dřevokazným hmyzem

Během prohlídky krovu bylo také objeveno uvolnění spojů především v místech spojení vazných trámů (viz. obr 39). Předpokladem vzniku tohoto uvolnění je vliv sesychání dřevěných prvků. Co se týče ostatních konstrukčních spojů, nebyla zde objevena žádná porucha.



Obrázek 39 Uvolnění spoje vazného trámu

V severní (viz. obr. 40) a východní (viz. obr. 41) části krovu, bylo také objeveno odkrytí stropní konstrukce. Po odstranění svrchní vrstvy, kterou tvořily na ležato ložené pálené cihly

a sypané vrstvy, do které byly tyto cihly položeny, došlo k odhalení stropního záklopu, který byl tvořen překládanými fošnami. Odstraněním těchto fošen je možné určit, že se jedná o trámový strop kdy podhled 2 NP tvořený deskovým omítaným záklopem je nesen samostatnými trámy. Tímto konstrukčním provedením stropu, dochází mezi záklopem stropu a podlahou půdy k tzv. odvětrávané vzduchové mezeře. Tímto způsobem je zabezpečené dostatečné větrání stropu a dochází tak ke snížení rizika vzniku nadměrné vlhkosti nosných prvků v těchto prostorech. Oblasti odkrytí stropní konstrukce jsou vytyčeny na výkresu č. 1. (KS1 a KS2).

Co se týče výměn prvků, tyto opravy v konstrukci krovu ani stropu nebyly v době průzkumu zahájeny.



Obrázek 40 Odkrytí stropu - severní část



Obrázek 41 Odkrytá část stropu - východní část

14.1.3. Předběžné ověření

V průběhu předběžné prohlídky byla detekována kritická místa krovu, která vykazují možné riziko kolapsu konstrukce. Vzhledem k rozsahu konstrukce se jedná o méně významné degradace krovu, jejichž lokalizace se dala předpokládat.

Jak již vyplývá z náplně mé praktické části, podrobný průzkum krovu se bude zaměřovat především na určení pevnostních vlastností nosných prvků krovu. Měření pomocí přístrojové techniky bude prováděno vždy na plných vazbách krovu. Vzhledem k záměru budoucího využití hlavní budovy zámku bude podrobný průzkum doplněn i o měření ve stanovených kritických místech, která jsou velkým rizikem pro statickou funkci krovu. Ve výsledném hodnocení budou uvedeny orientační pevnosti nosných prvků a také určena míra degradace kritických míst krovu za pomoci přístrojové techniky.

14.1.4. Okamžitá opatření

Na základě předběžné prohlídky krovu je zapotřebí provést opatření, týkající se nalezených kritických míst. V případě porušené pozednice provést podepření vazných trámů a zajištění zpětného spojení vzpěr a krokví s vazným trámem. Napadený vazný trám biotickou degradací podložit alespoň ve dvou místech jeho rozponu. Nejlépe by bylo provést tzv. bačkoru v místě nosné stěny, která je vyzděná cihelným zdivem nad dřevěný záklop stropu přímo v místě pod vazným trámem. Během předběžné prohlídky byla také objevena řada nevyhovujících a nebezpečných detailů pro konstrukci (např. hřebíky, které porušily hydroizolaci střechy, porucha oplechování v místě úžlabí, oplechování v místě trojúhelníkového frontonu, netěsnosti v místech střešních okének). Tyto opravy by bylo vhodné provést až jako sanační zásah, jehož návrh by byl založen na podrobném průzkumu, kterým by bylo možné získat potřebné informace o reálném stavu konstrukce.

14.2. Podrobný průzkum

Podrobný průzkum krovu zámku byl proveden v červenci roku 2015 a v březnu 2016 z důvodu získání dat s rozdílnou hodnotou vlhkosti. Přičemž podrobný průzkum v jarním měsíci objevil další kritická místa vzhledem ke zvýšení vlhkosti a to vlivem zatékání srážkové vody. Součástí průzkumu bylo získání výkresové dokumentace půdorysu a příčného řezu krovem. Výkres půdorysu bude sloužit pro lokalizaci míst s plnými vazbami krovu, kde se

bude provádět přístrojové měření, ale také vytyčení kritických míst krovu, kde bude prováděno semidestruktivní zkoušení. Z krovu byl také destruktivním způsobem odebrán vzorek pro určení pevností ve školní laboratoři.

Provedení podrobného průzkumu bylo zhotoveno dle normativního postupu, jak je uvedeno v kapitole 11.3.

14.2.1. Podrobná prohlídka

V průběhu podrobného průzkumu, který probíhal v letním měsíci roku 2015, došlo k odhalení dalších vad a poruch, které byly v předběžném průzkumu přehlédnuty. K velmi závažné poruše patří degradace vodou a pravděpodobně i biologickými činiteli s následnou destrukcí krokve (viz. Výkres č. 1 – sonda K1). Z tohoto důvodu došlo ke změně statického působení krovu, a tím přetížením sousedící jalové vazby krovu (viz. obr. 42). Příčinou degradace je zřejmě špatné provedení oplechování v místě okenního vikýře, které vzniklo při opravě právě tohoto detailu střechy.



Obrázek 42 Degradace krokve

Dalším kritickým místem krovu byla degradace pozednice (viz. obr. 43) v místě trojúhelníkového frontonu (viz. Výkres č. 1 – sonda D6). Příčinou degradace mohla být zvýšená vlhkost jak vlivem zatékání přes nekvalitní provedení oplechování detailu frontonu, tak stykem pozednice se zdivem. Zvýšením vlhkosti v tomto místě docházelo ke vzniku vhodných podmínek pro dřevokazný hmyz či hnilobu.



Obrázek 43 Biotická degradace pozednice vlivem zvýšené vlhkosti

Podrobným průzkumem byla také objevena degradace vlivem požáru (viz. Výkres č. 1 – sonda D2). I když se tato degradace netýká přímo konstrukce krovu, provedení diagnostiky bylo s ohledem na budoucí využití zámku žádoucí. Postižena je výměna (viz. obr 44) a přiléhající nosný trám stropu (viz. obr. 45) v místě tehdejšího komínu, do kterého byly vyústěny kouřovody kamen z jednotlivých místností zámku. Příčina tohoto ohoření profilů může být dvojitá. Prvním předpokladem bylo lokální samovznícení výměny a přiléhajícího nosného trámu od komínů a druhým předpokladem byl vznik této degradace vlivem požáru, který se zde objevil dle stavebně historického průzkumu v roce 1869.



Obrázek 44 Ohořelá výměna nosných trámů



Obrázek 45 Ohořelý nosný trám stropu

V průběhu podrobné prohlídky byla objevena taky četná místa krovu napadená dřevokazným hmyzem (viz. Výkres č. 1 – sonda P1). Po podrobnějším průzkumu těchto míst byly na první pohled patrné výletové otvory kruhového tvaru o průměru 2 mm, ale také otvory kruhového až oválného tvaru o průměru 3 až 5 mm (viz. obr. 46). Z tohoto důvodu lze usoudit, že by se v našich podmínkách mohlo jednat o napadení často vyskytovaného červotoče proužkovaného (červené označení) a tesaříka krovového (žluté označení).



Obrázek 46 Napadení dřevokazným hmyzem

Při podrobné prohlídce, která proběhla v jarním měsíci v roce 2016, byla objevena další kritická místa. Vlivem častějších dešťových srážek docházelo k vniku srážkové vody do konstrukce krovu. Velice významnou degradací bylo zatékání v místě úžlabí a styku dvou střešních rovin (viz. Výkres č. 1 – sonda D7). Zatékáním byly postiženy tyto prvky krovu (červeně označené) - sloupek, krokve, vzpěra, hambálek (viz obr. 47). Voda, která znatelně protékala sloupkem, způsobila také degradaci přiléhající vzpěry (žlutě označené) a vazného příčného trámu (viz obr. 48). Na povrchu vlhkého sloupku byla již znatelná degradace vlivem dřevokazné houby (viz. obr. 49).



Obrázek 47 Degradace úžlabí a vzpěry



Obrázek 48 Degradace vazného trámu



Obrázek 49 Plodnice dřevokazné houby

Další objevenou degradací bylo opět zatékání srážkové vody v místě střešního okna (viz. Výkres č. 1 sonda – D8). Voda se do konstrukce opět dostávala přes porušený detail oplechování střešního okna (viz. obr. 50). Vlivem zatékání došlo k poruše přiléhající krokve, vzpěry a voda odtud tekla na kráče a pozednici (viz. obr. 51). Kráče bylo již v době prohlídky napadeno pravděpodobně dřevokaznou houbou (viz. obr. 52).



Obrázek 50 Místo vniku vody do konstrukce



Obrázek 51 Degradace kráče a pozednice



Obrázek 52 Biologická degradace na kráčeti

Podrobný průzkum krovu proběhl ve dvou etapách. První etapa proběhla v červenci roku 2015, kdy bylo provedeno semidestruktivní zkoušení pomocí pilodynu pro zjištění pevnosti povrchových vrstev dřeva. Proběhlo také měření resistographem – odporovým mikrovrtáním pro zjištění stavu a pevnosti dřeva v jeho celém průřezu. Měřením pomocí resistographu byly podrobeny pouze prvky plných vazeb z důvodu vyčerpání úložné paměti přístroje. Nezbytnou součástí při obou měření bylo také měření vlhkosti jednotlivých prvků odporovým vlhkoměrem a sledována byla také teplota a vlhkost okolního prostředí. Průběh měření v druhé etapě, která probíhala v březnu roku 2016, byl stejný jak u výše uvedené první etapy až na absenci měření plných vazeb pomocí resistographu. Důvodem byl předpoklad, že mezi uvedenými etapami se dominantně mění zejména povrchové charakteristiky materiálu a vlhkost. Resistographem byly měřeny pouze místa degradací, které byly objeveny v první etapě společně s nově objevenými degradacemi.

14.2.2. Semidestruktivní zkoušky

Zásah do konstrukce těmito zkouškami je velmi malý a dochází pouze k lokálnímu porušení, kdy stabilita a funkčnost prvků konstrukce není nijak ovlivněna. Výsledky z měření těmito metodami jsou objektivnější než u nedestruktivních metod.

Odporové zarážení trnu – Pilodyn 6J Forest

Měření pilodynem (viz. obr. 53) funguje na principu vnikání jehly do zkoumaného dřevěného prvku. Jehla je po odjištění přístroje vystřelena konstantní rychlostí, kterou zajišťuje pružina uvnitř pilodynu. Maximální hloubka průniku jehly je 40 mm. Z tohoto důvodu je měření omezené touto hloubkou průniku. Po vniknutí jehly do dřevní hmoty je provedeno odečtení hloubky průniku na stupnici, která je umístěna na plášti přístroje. Tato změřená hodnota slouží pro porovnání jednotlivých míst, nebo vyhodnocení výsledků pomocí regresních rovnic.



Obrázek 53 Zarážení trnu - Pilodyn 6J

Odporové mikrovrtání – Resistograph IML PD 200

U této metody měření dochází pouze k minimálnímu poškození dřevěných prvků. Při měření vrták resistographu o průměru 1,5 mm vniká do zkoumaného prvku s konstantními otáčkami a posuvem, který lze před měřením nastavit. Během měření se zobrazuje vrtný odpor na LCD displeji přístroje (viz. obr. 54). Na základě výsledku, který je ve formě grafu, lze provést vyhodnocení stavu zkoumané prvku. Je možné určení místa výskytu hniloby, či požerků od dřevokazného hmyzu, kdy dřevní hmota má výrazně menší odpor, nežli zdravé dřevo.

Podrobnější popis metody (viz. kapitola 12.2.2.).



Obrázek 54 Mikrovrtání resistographem

Měření vlhkosti – elektrický odporový vlhkoměr ELBEZ WHT 650

Použitý vlhkoměr (viz. obr. 55) pracuje na principu sledování změny elektrického odporu materiálu. Zvyšováním vlhkosti měrný odpor výrazně klesá. Pomocí dvou zářezových elektrod, které jsou součástí vlhkoměrného přístroje, takto zjišťujeme vlhkost zkoumaného materiálu. Tyto elektrody se zarazí do povrchu dřeva a je sledována hodnota vlhkosti, která se zobrazuje na displeji přístroje. Je-li povrch dřeva v místě měření mokrý (od srážkové nebo kondenzované vody), je třeba odstranit povrchovou vodu z plochy. U tohoto druhu přístroje nejsou elektrody izolované a mohlo by tak docházet k zisku zavádějících hodnot měření. Podrobnější popis metody je uveden v kapitole 12.1.2. Stanovení vlhkosti dřevěných prvků krovu bylo provedeno dle normy ČSN EN 13183-2 [10]. Pro každý prvek plné vazby byly stanoveny tři hodnoty vlhkosti.



Obrázek 55 Měření vlhkosti

14.2.3. Destruktivní zkouška

Pevnost v tlaku

Na odebraném vzorku z konstrukce – referenční vzorek (viz. obr. 56), byla dle normy ČSN 49 0110 [7] provedena upřesňující zkouška pro stanovení pevnosti dřeva podél vláken malých bezvadných těles (viz. obr. 57). Zkouška byla provedena ve školní laboratoři na hydraulickém lisu (viz. obr. 58). Vzorek dřeva, původně tvořící součást vazného trámu, byl podroben měření resistographem ve dvou na sebe kolmých směrech a kolmo k vláknům dřeva. V blízkosti vrtu resistographem byl na vzorku proveden dle normy ČSN 49 0110 odběr a označení 30 bezvadných těles o rozměrech 20 x 20 x 30 mm. Výsledky destruktivní zkoušky poslouží pro upřesnění semidestruktivního měření resistographem. Postup zkoušky je uveden výše v kapitole 12.3.



Obrázek 56 Odebraný vzorek z konstrukce



Obrázek 57 Malá bezvadá tělesa



Obrázek 58 Hydraulický lis

14.3. Výsledky hodnocení

Výsledné naměřené hodnoty, které byly zjištěny za pomoci semidestruktivních a destruktivních zkoušek, jsou uvedeny pro lepší přehlednost v příslušných tabulkách. Pro orientaci umístění sond je provedeno jejich vytyčení do půdorysu krovu (viz. Výkres č. 1). Ve výkresu jsou vytyčeny jak sondy plných vazeb (S1-S4), tak sondy, které byly provedeny v místech objevených degradací (D1 – D8). Pro popis jednotlivých měřených prvků krovu je uveden i výkres příčného řezu krovu (viz. Výkres č. 2).

Jak již bylo zmíněno v kapitole 14.2., měření probíhalo ve dvou etapách. V první etapě v červenci 2015 byla průměrná teplota vzduchu prostředí krovu 33,3 °C a průměrná vlhkost byla 54 %. V druhé etapě v březnu 2016 teplota činila 9,6 °C a vlhkost 64%.

Měření plných vazeb bylo provedeno v místech, kde je předpoklad vzniku největšího namáhání vlivem zatížení krovu.

Data, která byla naměřena za pomoci odporového vlhkoměru, nebylo třeba nijak upravovat a jsou uvedena v [%]. V případě předchozího chemického ošetření dřevěných prvků by mohlo dojít k určitému zkreslení výsledků, ovšem ošetření stávajících konstrukcí bylo jen lokální a tento vliv byl zanedbán. Měření hloubky zaražení trnu pilodynamem, nebylo potřeba taktéž upravovat a hodnoty jsou uvedeny v [mm]. V případě měření resistographem bylo zapotřebí z naměřených hodnot provést výpočet RM faktoru [mm]. Výpočet byl proveden vztahem (11) dle [16]:

$$RM = \frac{\int_0^h A \, dx}{h} \quad (11)$$

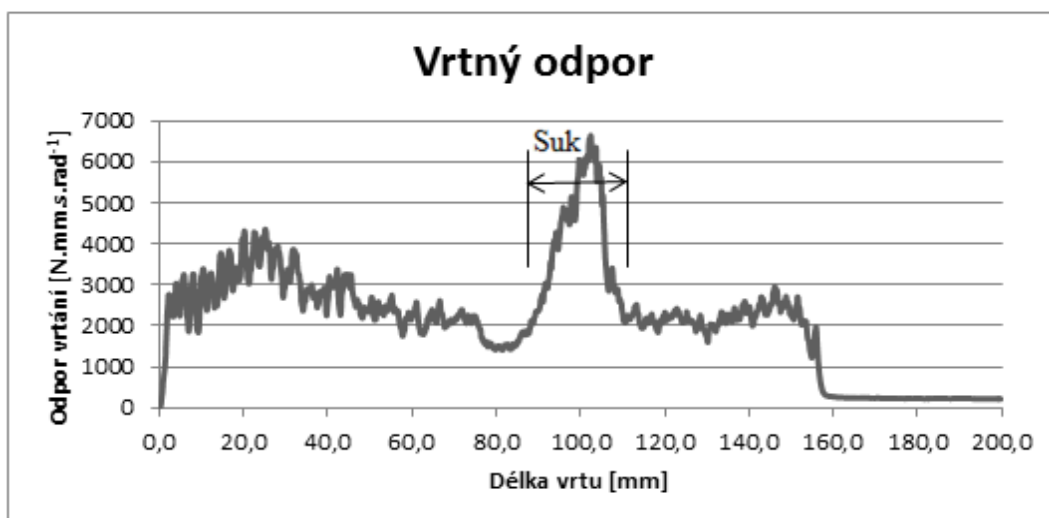
kde, RM je odporová charakteristika [mm];

A plocha pod křivkou [mm²];

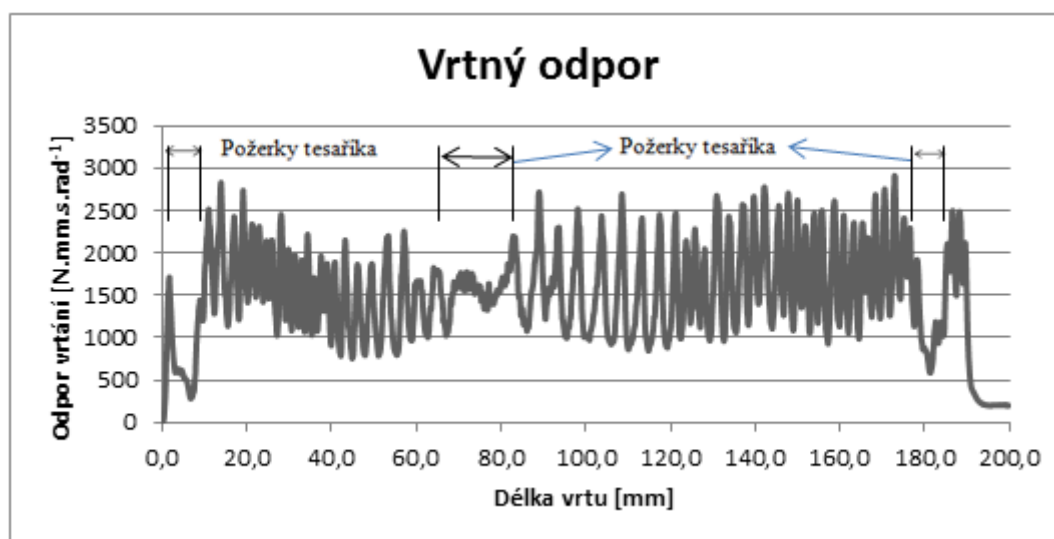
h délka měřeného úseku [mm].

Hodnoty RM faktoru nám budou sloužit pro další výpočty, konkrétně pro stanovení korelačního koeficientu a výpočet orientačních pevností jednotlivých prvků. Průměrná data měření jsou uvedena níže (viz. Tabulky 6-9). Souhrn všech naměřených dat plných vazeb, včetně vypočtených pevností, je pak uveden v přílohách č. 1 a 2.

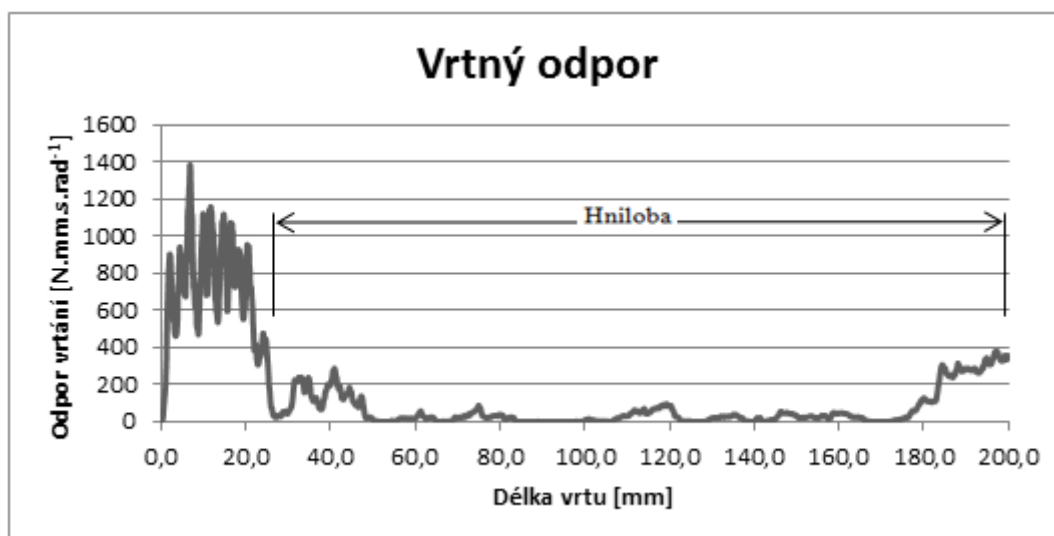
Za pomoci níže uvedených grafů je provedena identifikace vad či poruch, projevující se poklesem nebo nárůstem křivky vrtného odporu. Na grafu 1 je možno vidět nárůst křivky v místě suku, graf 2 poukazuje na pokles vrtného odporu v místech požerků tesaříka krovového a graf 3 znázorňuje úplný pokles křivky v místě hniloby.



Graf 1 Vliv suku na vrtný odpor



Graf 2 Výskyt požerků tesaříka krovového



Graf 3 Vliv hniloby na vrtný odpor

Tabulka 6 Výsledná data – Plná vazba č. 1 (S1)

S1	pilodyn t_p [mm]		vlhkost w [%]		RM faktor [mm]
	Léto	Jaro	Léto	Jaro	Léto
VT	15	19	11,0	12,8	2474,638
SL 1	19	19	10,5	12,9	1953,712
SL 2	15	17	10,7	13,6	2093,409
SL 3	18	16	10,5	13,7	2065,739
KR 1	14	13	10,5	14,0	1969,321
KR 2	16	16	11,1	25,8	2210,499
PZ 1	> 40	> 40	11,3	15,7	1141,519
PZ 2	18	21	10,0	12,2	2465,033
VZ 1	15	13	10,1	13,6	1676,111
VZ 2	16	17	11,6	15,3	/

(VT-vazný trám, SL 1 – SL 3 – sloupky, KR 1 a KR 2 – krokve, PZ 1 a PZ 2 – pozednice, VZ 1 a VZ 2 – vzpěry)

Jak je z výsledků patrné, měření pilodynem u pozednice PZ 1, dosahuje maxima měřitelného rozsahu přístroje, což vykazuje významnou povrchovou destrukci prvku. Měření resistographem u vzpěry VZ 2, nebylo vzhledem k dostupnosti nad schodišťovým prostorem možné provést. U krokve KR 2 vykazuje hodnota vlhkosti, která byla měřena na jaře, nadprůměrnou hodnotu. Ta byla zřejmě výsledkem přístupu srážkové vody do konstrukce krovu, přes lokální poruchu krytiny, nebo izolaci střechy.

Tabulka 7 Výsledná data – Plná vazba č. 2 (S2)

S2	pilodyn t_p [mm]		vlhkost w [%]		RM faktor [mm]
	Léto	Jaro	Léto	Jaro	Léto
VT	13	13	9,8	12,9	3067,379
SL 1	14	14	10,6	13,0	2210,786
SL 2	11	13	10,2	14,0	2495,953
SL 3	16	19	10,2	12,4	2276,058
KR 1	16	16	10,3	16,1	1933,201
KR 2	14	13	10,3	12,1	1730,124
PZ 1	15	16	11,7	16,3	2477,619
PZ 2	13	14	12,3	12,8	505,435
VZ 1	18	17	12,3	14,6	1801,600
VZ 2	12	15	11,5	13,4	1912,043

(VT-vazný trám, SL 1 – SL 3 – sloupky, KR 1 a KR 2 – krokve, PZ 1 a PZ 2 – pozednice, VZ 1 a VZ 2 – vzpěry)

Hodnota RM faktoru u pozednice PZ 2 je vzhledem k ostatním hodnotám RM faktorů výrazně nižší, i když měření pilodynem vykazuje průměrnou hodnotu zaražení trnu. Z tohoto důvodu bude tento RM faktor z průměrných dat vyloučen, aby nedošlo ke zkreslování celkových výsledků. Dle nízké hodnoty RM faktoru je možné usoudit, že se jedná o vnitřní degradaci prvku, která nemusí být měřením pomocí pilodynu objevena. U RM faktoru naměřeného u vazného trámu VT je možno sledovat vyšší hodnotu než u ostatních prvků. Ta je zřejmě způsobena výskytem suku v prvku.

Tabulka 8 Výsledná data – Plná vazba č. 3 (S3)

S3	pilodyn t_p [mm]		vlhkost w [%]		RM faktor [mm]
	Léto	Jaro	Léto	Jaro	Léto
VT	13	14	8,4	11,9	2048,682
SL 1	13	16	10,6	14,1	1792,694
SL 2	15	15	10,4	13,5	2562,664
SL 3	14	12	10,7	14,0	2186,734
KR 1	13	14	10,4	13,3	1796,060
KR 2	17	17	10,0	13,0	1897,325
PZ 1	15	20	10,4	12,5	1601,041
PZ 2	16	19	10,5	13,0	2851,035
VZ 1	14	15	10,3	14,0	1339,394
VZ 2	14	13	10,8	13,9	1840,114

(VT-vazný trám, SL 1 – SL 3 – sloupky, KR 1 a KR 2 – krokve, PZ 1 a PZ 2 – pozednice, VZ 1 a VZ 2 – vzpěry)

V případě měření plné vazby č. 3 nebyla zjištěna žádná hodnota, která by vykazovala jakoukoli anomálii, co se průměrných výsledků týče. Z těchto dat je tedy možné usoudit, že se jedná o prvky bez výrazných degradací.

Tabulka 9 Výsledná data – Plná vazba č. 4 (S4)

S4	pilodyn t_p [mm]		vlhkost w [%]		RM faktor [mm]
	Léto	Jaro	Léto	Jaro	Léto
VT	17	17	10,7	13,3	2134,307
SL 1	13	18	9,4	14,2	2328,211
SL 2	14	13	11,0	14,3	2728,684
SL 3	15	18	10,5	15,0	3113,921
KR 1	16	13	11,4	15,4	2023,240
KR 2	13	14	10,4	15,5	2140,610
PZ 1	12	20	11,3	12,5	2632,953
PZ 2	> 40	> 40	7,5	7,7	/
VZ 1	17	14	11,0	14,7	1536,184
VZ 2	15	14	11,1	15,1	1845,774

(VT-vazný trám, SL 1 – SL 3 – sloupky, KR 1 a KR 2 – krokve, PZ 1 a PZ 2 – pozednice, VZ 1 a VZ 2 – vzpěry)

Co se týče hodnot v tabulce, které jsou označeny červeně, a byly měřeny pilodynem, jedná se o hodnoty prvků s vysokým stupněm degradace, u nichž výsledek měření dosáhl maximální hodnoty přístroje. Z tohoto důvodu budou tyto hodnoty pro výsledný výpočet vyloučeny. Měření, které je označeno symbolem (/), nemohlo být z důvodu možnosti přístupu provedeno. Průměrné hodnoty naměřené na všech plných vazbách a jejich vyhodnocení je uvedené níže v kapitole 14.3.1.

Dále bylo také provedeno měření v různě degradovaných místech. V době měření byla teplota okolního prostředí krovu 9,6 °C a vlhkost činila 64 %. Na jednotlivých místech, která jsou vytyčena na půdorysu krovu (viz. Výkres č. 1), byl aplikován stejný postup měření, jak v případě měření plných vazeb. Jak již bylo zmíněné, měření resistographem u degradovaných prvků, probíhalo z důvodu nepřítomnosti místa v paměti přístroje až na jaře. Průměrná naměřená data jsou uvedena v tabulce 10.

Tabulka 10 Výsledná data – Degradace

Označení sondy	Název prvku	pilodyn t_p [mm]		vlhkost w [%]		RM faktor [mm]	
		Léto	Jaro	Léto	Jaro	Léto	Jaro
D1	vazný trám	18	17	9,6	14,0		3715,192
	sloupek	14	18	11,8	16,8		3089,680
	vzpěra	17	18	11,0	16,7		3028,542
	krokev	20	21	11,1	16,2		4298,471
D2	výměna	22	25	6,6	8,0		2909,310
	nosný trám	21	22	6,9	8,2		3856,381
D3	vazný trám	25	28	7,9	12,0		2709,590
D4	pozednice	> 40	> 40	7,5	12,4		/
D5	vazný trám	18	18	13,0	13,8		3538,687
	sloupek	14	12	10,8	12,8		4197,244
	vzpěra	14	15	9,6	12,8		2347,751
	krokev	15	18	10,9	15,9		2491,964
	pozednice	14	18	10,2	13,2		2959,712
D6	pozednice	> 40	> 40	7,5	13,0		1728,601
D7	vazný trám		> 40		> 50		748,269
	sloupek		> 40		> 50		1688,959
	vzpěra		17		49,4		2638,146
	krokev		13		16,3		2847,980
D8	krokev		> 40		27,5		634,275
	kráče		> 40		> 50		1921,328
	pozednice		> 40		> 50		294,742

Označení sond D1 – D8 vyjadřuje označení jednotlivých degradací, které byly během průzkumu objeveny. Jejich vytyčení je provedeno ve výkrese č. 1. Popis jednotlivých kritických míst je uvedený v příloze č. 3 a 4.

V případě provedených sond (D1 a D5), se jednalo o již neaktuální zatékání srážkové vody, které bylo pravděpodobně řešeno, jelikož při porovnání výsledků naměřených pilodynem a resistographeem v těchto sondách nedošlo k výrazným změnám hodnot, vzhledem k ostatním hodnotám degradací.

Sonda D2 uvádí pouze povrchové poškození ohořelých prvků, které nemá, až na mírné zmenšení průřezu ohořelé výměny, výrazný vliv na jejich statickou funkci.

U sond (D3, D4 a D6) se jedná o napadení prvků dřevokazným hmyzem. Podle výletových ovorů a po odstranění povrchové části dřeva je možné identifikovat zejména vliv tesařika krovového. V některých případech je také možno určit vliv červotoče proužkovaného, který je v našich podmínkách nerozšířenějším.

Sondy (D7 a D8) prezentují výrazné zvýšení vlhkosti jednotlivých prvků. I po osušení povrchové vody před měřením, vykazují naměřené hodnoty extrémní hodnoty vlhkosti, která byla zřejmě způsobena kontinuálním zatékáním vody do konstrukce. Tato zvýšená vlhkost měla i značný vliv na hodnoty naměřené pilodynam, které taktéž vykazovaly značnou degradaci prvků. Naměřené hodnoty za pomoci vlhkoměru a pilodynu byly stanoveny jako maximální hodnota měřitelná daným zařízením.

V případě užlabí (sonda D7), došlo dokonce k rozpojení sloupku, vaznic a krokví, což způsobilo výrazný negativní zásah do statiky krovu. Vyhodnocením měření jsou orientační pevnosti degradovaných prvků krovu (viz. Tabulka 14).

Všechna naměřená data kritických míst včetně výsledných pevností jsou uvedena v příloze č. 3 a 4.

Posledním krokem, který se týkal podrobného průzkumu, bylo stanovení přibližné pevnosti dřeva vzorku, jež byl odebrán z konstrukce v průběhu měření. Součástí této zkoušky bylo také určení vlhkosti váhovou metodou vztahem (17) dle ČSN EN 13183-1 [11] a výpočet hustoty dřeva vztahem (18) podle ČSN 49 0108 [3]. Pro určení přesných hmotností vzorků bylo využito laboratorní digitální váhy s přesností měření 0,001 g (viz. obr. 59). Vysušení vzorků bylo provedeno v sušícím boxu (viz. obr. 60) při teplotě $103 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (17)$$

kde, m_1 je hmotnost zkušebního tělesa před sušením [g];
 m_0 hmotnost vysušeného tělesa [g];
 w vlhkost [%].

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \cdot 100 \quad (18)$$

kde, m_w je hmotnost zkušebního tělesa před sušením [kg], při vlhkosti w ;
 a_w, b_w, l_w rozměry zkušebního tělesa v [m], při vlhkosti w .



Obrázek 59 Laboratorní váha



Obrázek 60 Sušicí box

Průměrná vlhkost vzorků určená váhovou metodou činila 8,3 % se směrodatnou odchylkou 0,2 %. Dle příslušné vlhkosti a rozměrů vzorků, které byly určeny před začátkem měření, byla zjištěná průměrná objemová hmotnost vzorků $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ se směrodatnou odchylkou $16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Soubor všech vypočtených hodnot společně s naměřenými pevnostmi vzorků jsou uvedeny v příloze č. 5.

Pevnosti vzorků, zjištěné na hydraulickém lisu, byly zprůměrovány a jejich průměrná pevnost činí 71,0 MPa se směrodatnou odchylkou 5,5 MPa. Na závěr měření se provedlo vyjádření součinitele α [MPa] dle: [28], který bude sloužit pro orientační stanovení pevnosti dřeva jednotlivých prvků krovu výpočtem (17):

$$f_{c,0,\text{destruktivní}} = \alpha \cdot f_{c,0,\text{nedestruktivní}} \quad (17)$$

Jednoduchou úpravou pak získáme vyjádření součinitele α (18):

$$\alpha = \frac{f_{c,0,\text{destruktivní}}}{f_{c,0,\text{nedestruktivní}}} \quad (18)$$

kde, $f_{c,0,\text{destruktivní}}$ je průměrná pevnost získaná upřesňující destruktivní zkouškou [MPa];
 $f_{c,0,\text{nedestruktivní}}$ průměrná hodnota RM faktorů z referenčního vzorku [mm];
 α součinitel [MPa].

Pro výpočet součinitele α bylo zapotřebí určit průměrné hodnoty RM faktorů z referenčního vzorku a pevností $f_{c,0,destruktivní}$ na tomto vzorku. Průměrná hodnota RM faktorů činila 2216,794 mm a průměrná hodnota $f_{c,0,destruktivní} = 71,0$ Mpa . Po dosazení těchto hodnot do vztahu (17), byl vypočten součinitel $\alpha = 0,032$ MPa/mm. Za pomoci této hodnoty provedeme dle vztahu (18) výpočet pevností jednotlivých prvků krovu.

Grafy vrtných odporů naměřených na referenčním vzorku jsou uvedeny v příloze č.6.

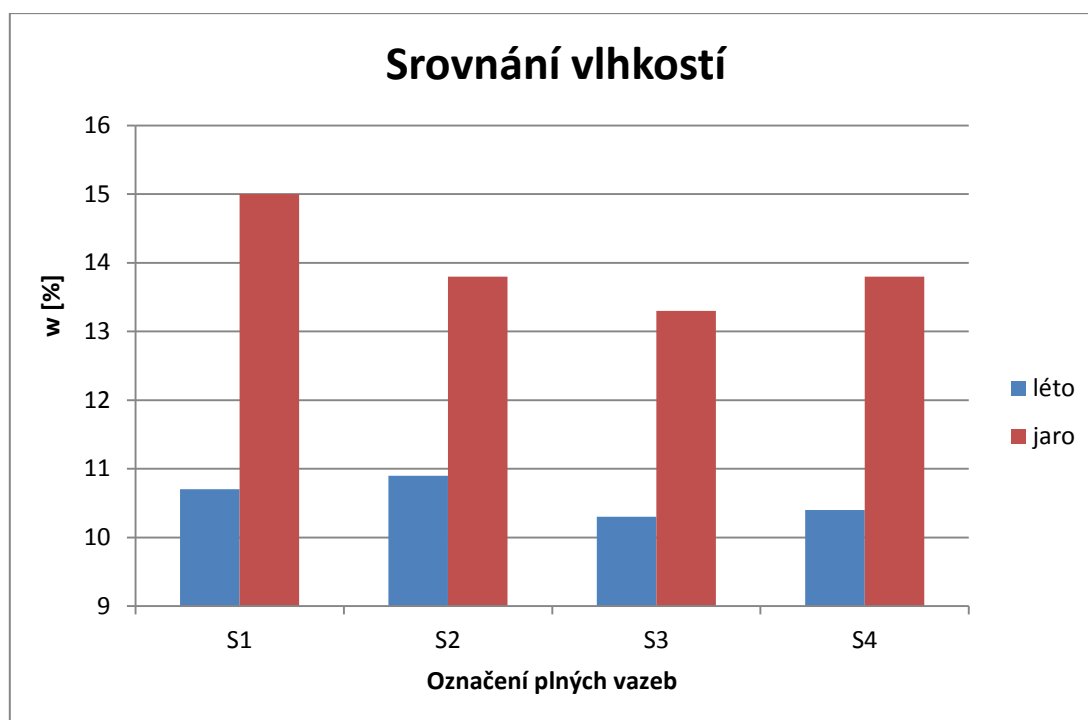
14.3.1. Vyhodnocení měření – plné vazby

Měření vlhkosti

Měření vlhkosti IN SITU bylo provedeno na všech prvcích plných vazeb zvlášť. Pro porovnání těchto hodnot při změně letního a jarního období se provedlo srovnání průměrných vlhkostí plných vazeb pomoci tabulky 11 a také vizuálního porovnání pomoci grafu (viz. obr. 61).

Tabulka 11 Srovnání průměrných vlhkostí

w [%]	S1	S2	S3	S4
léto	10,7	10,9	10,3	10,4
jaro	15,0	13,8	13,3	13,8



Obrázek 61 Grafické srovnání vlhkostí

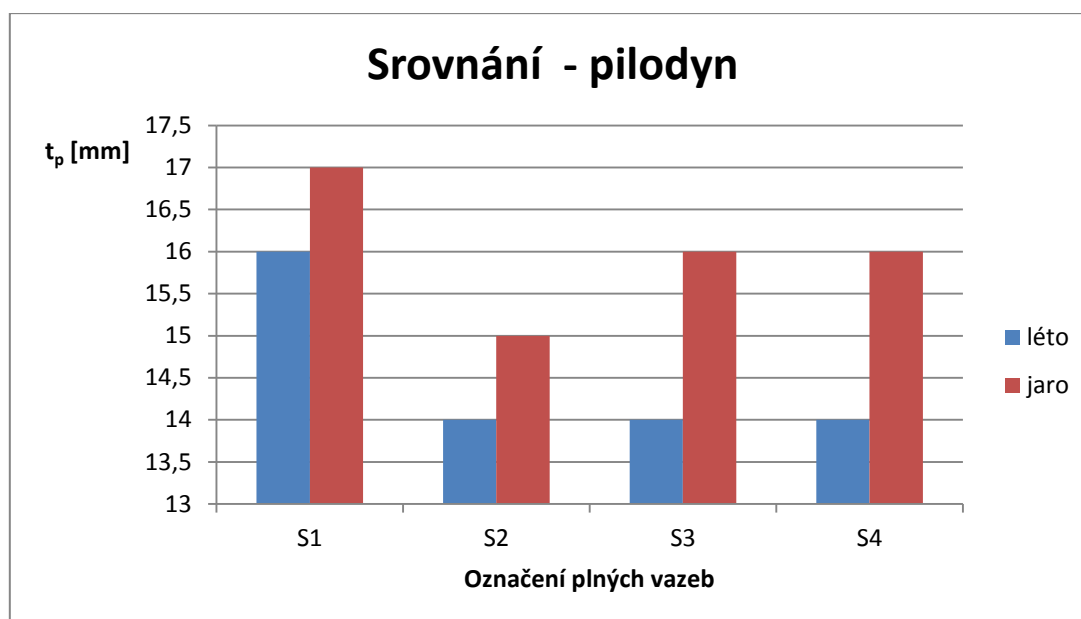
Z uvedeného grafu i tabulky je patrné, že vlhkost vzrostla u všech měřených plných vazeb. Výsledkem srovnání tohoto měření jsou průměrné hodnoty vlhkosti v letním období, která činí 10,6 % a v jarním období 14,0 %. Hodnoty vlhkostí se v rozmezí těchto období liší o 3,4%. Uvedené hodnoty se týkají prvků krovu, které nejsou viditelně degradovány.

Měření pilodynem

Měření pilodynem IN SITU bylo provedeno obdobným postupem jako u měření vlhkostí. Naměřené průměrné hodnoty jsou opět uvedeny a srovnány formou tabulky (viz. Tabulka 12) a grafu (viz. obr. 62).

Tabulka 12 Srovnání průměrných hodnot t_p

t_p [mm]	S1	S2	S3	S4
léto	16	14	14	14
jaro	17	15	16	16



Obrázek 62 Grafické srovnání t_p

Pro srovnání měření pilodynem, jsou v tabulce 11 uvedené průměrné hodnoty t_p (hloubky zaražení trnu) v letním a jarním období. Jak je možno vidět z grafického srovnání (viz. obr. 62), jsou průměrné hodnoty t_p závislé na změně vlhkosti. Z tohoto důvodu vyplývá fakt, že se zvyšující se vlhkostí dřeva úměrně klesá jeho pevnost i tvrdost. Průměrná hloubka zaražení trnu t_p v letním měsíci činila 15 mm a v jarním 16 mm. Z těchto zjištěných hodnot tedy vyplývá, že při průměrném zvýšení vlhkosti o 3,4 % došlo v průměru o 1 mm hlubší zaražení trnu. Na základě porovnání průměrných hodnot naměřených v letním a jarním období pilodynem, lze říci, že při zjištěném zvýšení vlhkosti dojde přibližně o 7 % nárůst hloubky zaražení trnu. Vzhledem k omezené oblasti měření pilodynu, jehož hodnota je v průměru 15,5 mm od povrchu dřeva, se jedná pouze o orientační hodnoty vztažené zejména k povrchu profilů. Výsledné hodnocení, zjištěné touto metodou, se opět vztahuje k prvkům krovu, které nejsou nijak ovlivněny degradačními vlivy. Z tohoto plyne fakt, že informace zjištěné během průzkumu o změnách pevnosti se vztahují pouze k prvkům, které nejsou poškozené degradací.

Měření resistographem

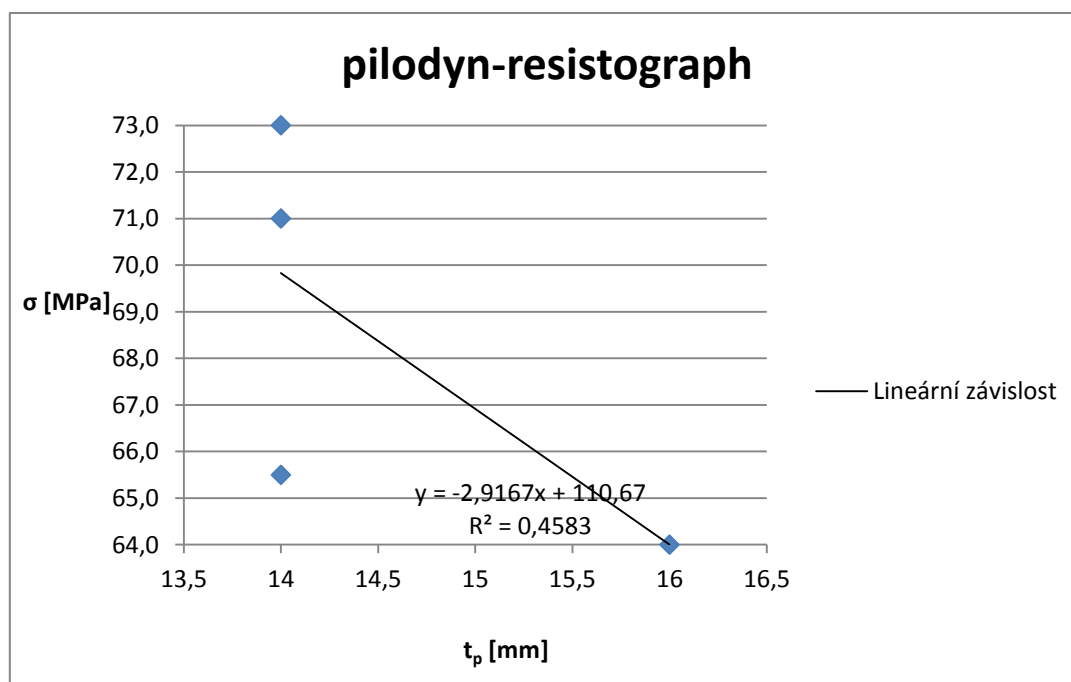
Vyhodnocení měření resistographem IN SITU, které proběhlo v letním měsíci, je provedeno formou srovnání již přepočtených průměrných RM faktorů na pevnosti dle vztahu (18) v tabulce 13. Závěrem měření bylo vyjádření závislosti mezi letním měřením pilodynem a resistographem pomocí grafu (viz. obr. 63).

Tabulka 13 Výpočet průměrných pevností

	S1	S2	S3	S4
RM faktor [mm]	2005,553	2211,64	1991,574	2275,987
σ [MPa]	64,0	71,0	65,5	73,0

Jak již bylo uvedeno výše, RM faktory jednotlivých prvků vazeb byly zprůměrovány do jedné hodnoty, která je uvedena v tabulce. Poté došlo k výpočtu průměrných pevností. Prvky s největší pevností se vyskytují ve vazbě č. 4 a nejméně pevné ve vazbě č. 1.

Výsledné průměrné pevnosti plných vazeb se týkají malých bezvadných těles. Pro konstrukční profily by tyto hodnoty měly být redukovány v závislosti na výskytu různých vad (suků, odklonu vláken, trhlin atd.).



Obrázek 63 Lineární závislost RM faktoru na hloubce penetrace

Lineární závislost mezi hodnotami naměřenými resistographem a pilodynem v letním měsíci je vyjádřena koeficientem determinace $R^2 = 0,46$ a koeficientem korelace $R = -0,68$. Tyto koeficienty udávají, jak sledované veličiny spolu korelují, či jak je možné popsat závislost těchto veličin matematickým vztahem. Jelikož je hodnota $R > 0,5$, lze tyto data považovat za poměrně dobře korelovatelná.

14.3.2. Vyhodnocení měření – kritická místa

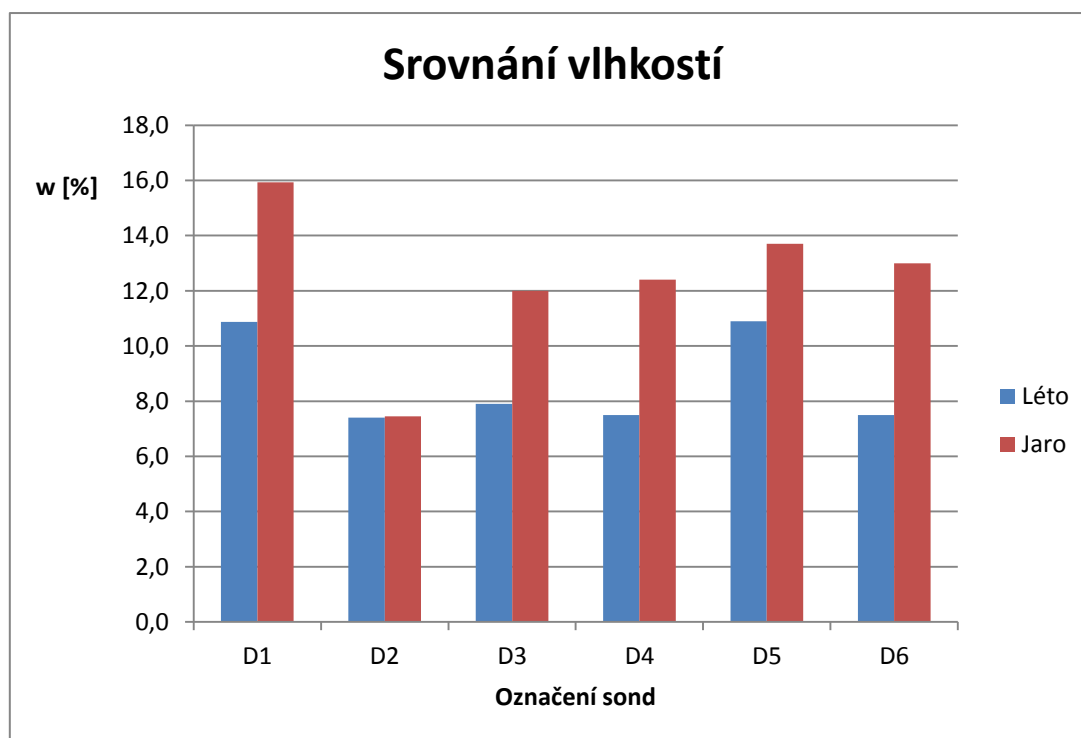
Co se týče diagnostického měření v rámci kritických míst, převážně se jednalo o prvky degradované vlivem zatékání srážkové vody, či jiného působení vlhkosti. Jak je již o dřevě známo, prvky vystavené vyšší vlhkosti jsou náchylnější ke vzniku biotického poškození a také dochází ke snížení jejich pevnosti.

Měření vlhkosti

Měření vlhkosti IN SITU kritických míst bylo provedeno u všech zjištěných degradací. Porovnání těchto hodnot při změně letního a jarního období se provedlo srovnáním jednotlivých průměrných vlhkostí za pomoci tabulky 14 a také vizuálního za pomoci grafu (viz. obr. 64). V případě degradací D7 a D8 se porovnání provést nemohlo z důvodu absence letních hodnot.

Tabulka 14 Srovnání průměrných vlhkostí

w [%]	D1	D2	D3	D4	D5	D6
léto	10,9	7,4	7,9	7,5	10,9	7,5
jaro	15,9	7,5	12,0	12,4	13,7	13,0



Obrázek 64 Grafické srovnání vlhkostí

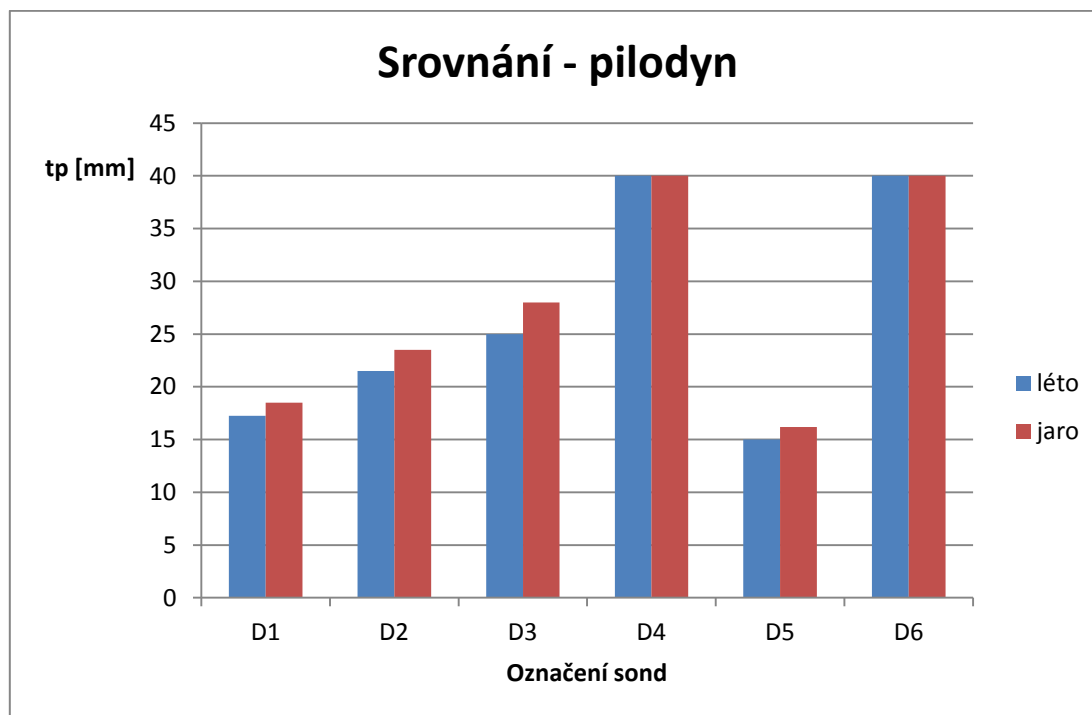
Z grafu i tabulky je možné sledovat fakt, že vlhkost v rozmezí léta a jara vzrostla u všech měřených degradací až na hodnoty týkající se degradace D2. Průměrné hodnoty se liší pouze o jednu desetinu % (viz. Tabulka 14). Výsledkem srovnání tohoto měření jsou průměrné hodnoty vlhkosti v letním období, která činí 8,7 % a v jarním období 13,0 %. Tyto hodnoty vlhkosti se v rozmezí léta a jara liší o 4,3 %.

Měření pilodynem

Měření pilodynem IN SITU bylo v kritických místech provedeno stejným postupem jak u měření vlhkostí. Naměřené průměrné hodnoty jsou opět uvedeny a srovnány formou tabulky (viz. Tabulka 15) a grafu (viz. obr. 65).

Tabulka 15 Srovnání průměrných hodnot hloubky zaražení trnu

t_p [mm]	D1	D2	D3	D4	D5	D6
léto	17	22	25	40	15	40
jaro	19	24	28	40	16	40



Obrázek 65 Grafické srovnání t_p

Srovnání hodnot naměřených pilodynem, je součástí tabulky 15. Jak je možno vidět na grafu (viz. obr. 66), průměrné hodnoty t_p (hloubky zaražení trnu) v letním a jarním období jsou závislé na změně vlhkosti. Se zvyšující se vlhkostí dochází k většímu průniku trnu pilodynem

do dřeva. Z toho vyplývá známý fakt o dřevě, že s jeho zvyšující se vlhkostí úměrně klesá jeho pevnost i tvrdost. Průměrná hloubka zaražení trnu t_p v letním měsíci činila 26 mm a v jarním 28 mm. Vzhledem k měřené oblasti pilodynů se jedná o orientační hodnoty vztažené zejména k povrchu degradovaných profilů. Hodnoty naměřené u sond D4 a D6 vykazují značnou povrchovou degradaci dřevěných prvků.

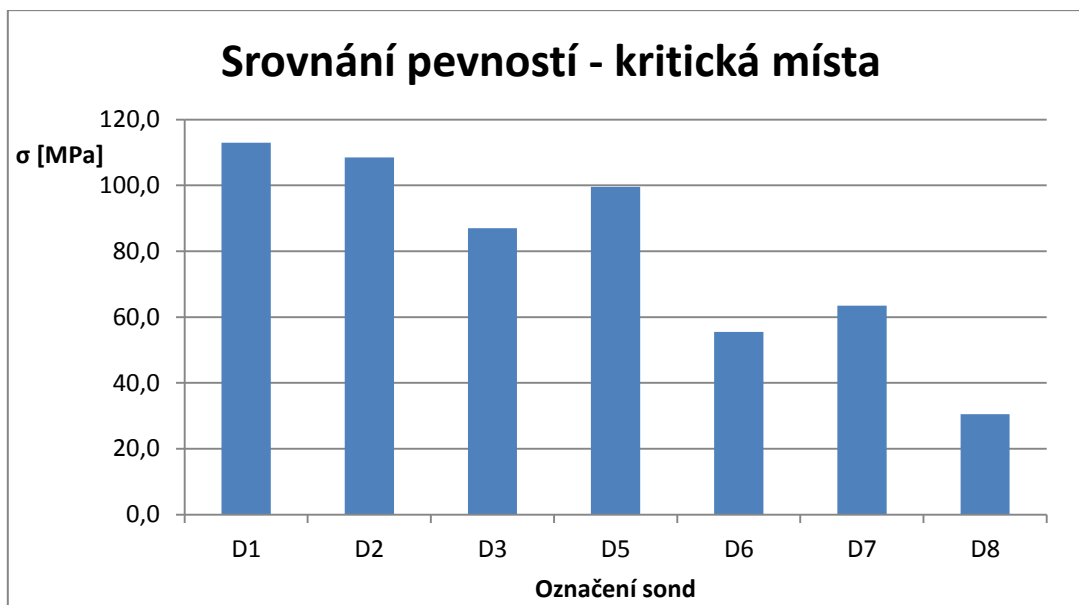
Měření resistographem

Vyhodnocení měření resistographem IN SITU kritických míst, které proběhlo v jarním měsíci, bylo provedeno stejným způsobem jako u vyhodnocení měření plných vazeb. A to formou srovnání již přepočtených průměrných RM faktorů na pevnosti dle vztahu (18) v tabulce 16. a grafickou formou (viz. obr. 66). Závěrem měření bylo provedeno vyjádření závislosti mezi jarním měřením pilodynem a resistographem pomocí grafu (viz. obr. 67).

Tabulka 16 Srovnání pevností

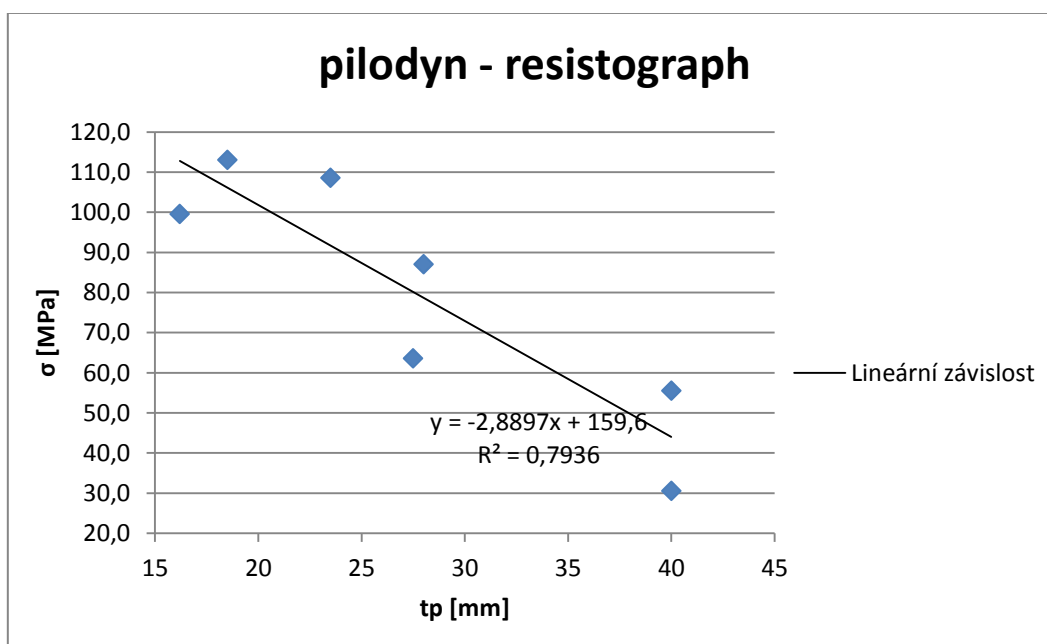
ϕ	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
RM faktor [mm]	3532,971	3382,846	2709,590	/	3107,072	1728,601	1980,839	950,115
σ [MPa]	113,0	108,5	87,0	/	99,5	55,5	63,5	30,5

Na základě srovnání průměrných pevností prvků postižených degradací s průměrnou pevností referenčního vzorku, která byla 71,0 MPa, jsou označeny místa se sníženou pevností (červené označení). Průměrná hodnota pevností plných vazeb činila 69,0 MPa, tudíž se jedná o hodnotu blízkou průměrné pevnosti referenčního vzorku. Hodnoty pevností degradovaných prvků, které jsou vyšší než průměrná pevnost plných vazeb, jsou způsobeny zřejmě použitím jiného druhu dřeviny v konstrukci, nebo výskytem suků v místě vrtu resistographem. Hodnoty vypočtených pevností se opět týkají malých bezvadných těles. Pro uvedení pevností konstrukčních profilů by se měla provést redukce v závislosti na různých vadách dřeva.



Obrázek 66 Grafické srovnání pevností

U degradovaných částí je nutné zdůraznit, že v jejich místě dochází k poklesu pevnosti, zejména u částí D6 – D8. V tomto případě měření byly určeny poklesy pevností 22% pro část D6, 11% pro D7 a 57% pro D8. V případě sondy D4 se z důvodu destrukce pozednice nedalo měření resistographem provést. V těchto případech, je důležité okamžité opatření redukující vlhkost materiálu, a tak i další vývoj degradace, který by negativně ovlivnil pevnosti prvků. Na závěr měření bylo opět provedeno vyjádření závislosti mezi jarním měřením pilodynem a resistographem pomocí grafu (viz. obr. 67).



Obrázek 67 Lineární závislost RM faktoru na hloubce penetrace pilodynem

Lineární závislost mezi naměřenými hodnotami resistographem a pilodynem v jarním měsíci je vyjádřena koeficientem determinace $R^2 = 0,79$ a koeficientem korelace $R = - 0,89$. Tyto koeficienty udávají, jak sledované veličiny spolu korelují, či jak je možné popsat závislost těchto veličin matematickým vztahem. Jelikož je hodnota $R > 0,5$, lze tyto data považovat za poměrně dobře korelovatelná.

14.3.3. Návrh opatření kritických míst

Jako okamžité opatření doporučuji opravu úžlabí u sondy D7 a zabránění tak dalšímu vnikání vody. Součástí oprav by měla být výměna sloupku a opětovné podepření konstrukce. Následně navrhuji kontrolu spojenou s opravami oplechování všech detailů střechy, které jsou v tomto případě velice důležitými faktory ovlivňující životnost dřevěného krovu. Po opravení těchto detailů, by bylo také vhodné provést sanaci všech prvků krovu, které byly v době jejich životnosti postiženy různými negativními degradačními vlivy.

14.3.4. Celkové zhodnocení průzkumu

Po provedení vyhodnocení průzkumu krovu, je možné konstatovat, že až na objevená kritická místa, která byla v průběhu průzkumu nalezena, je krov zachovalý a bez výrazného poškození. Po odstranění závad vzniku kritických míst a následné opravy postižených prvků krovu, by konstrukce měla bez problémů přenášet zatížení a splňovat tak správnou statickou funkci krovu. Co se týče vlhkosti, ta se v průběhu roku významně měnila. Dle srovnání grafických výsledků z měření vlhkosti a hloubky penetrace, je možné usoudit, že zvyšující se vlhkost výrazně ovlivňuje pevnost dřevěných prvků krovu. Srovnáním měření pilodynem a resistographem je možné určit, že naměřená data z těchto dvou přístrojových zařízení jsou poměrně dobře korelovatelná a rozdíl mezi nimi je dán tím, že pilodyn měří povrchové vlastnosti a resistograph celý profil prvku.

15. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo nastudovat a aplikovat znalosti o dřevě jako takovém a přístrojových diagnostických metodách při stavebně - technickém průzkumu historického dřevěného krovu na Zámku v Paskově. Jak je již u dřevěných konstrukcí známo, jejich trvanlivost je závislá od působení vlivů různých činitelů. Mezi hlavní degradační činitele patří vlhkost, dřevokazné houby a hmyz. Z tohoto důvodu pro zachování a obnovu historických konstrukcí je zapotřebí provádět právě stavebně - technické průzkumy. Tento průzkum historického krovu Zámku v Paskově byl proveden dle metodiky uvedené v české technické normě ČSN ISO 13822.

Diagnostika historických dřevěných konstrukcí je speciálním oborem inženýrské činnosti, které se využívá při hodnocení technického stavu dřeva zabudovaného v historických stavbách, a jenž by měla být v souladu s památkovou ochranou. V těchto případech nelze využívat standardní zkušební postupy pro určení charakteristických vlastností dřeva, jelikož je žádoucí provádět pouze minimální zásahy do jejich konstrukcí. Z tohoto důvodu inženýrské činnosti využívají sice cenově nákladné, ale za to velmi účinné sofistikované metody, které projektantům poskytují přesná data i v případě sníženého zásahu, nebo úplného vyřazení destruktivních sond, což je u památkových staveb velmi oceňováno.

Určení fyzikálních a mechanických vlastností historických dřevěných konstrukcí, které jsou stanovené pomocí diagnostických metod, je velice cennou informací. Tato data projektantům při navrhování oprav, či posudku spolehlivosti umožňují správná rozhodnutí s cílem zachovat historické hodnoty těchto konstrukcí.

Při stavebně-technickém průzkumu krovu na Zámku v Paskově bylo využito obdobných metod, jako je uvedeno u výše rozebrané problematiky památkově chráněných staveb. K těmto postupům bylo přistoupeno z hlediska historické hodnoty objektu zámku, jehož výstavba se podle [12] datuje k první polovině 17. století.

Konstrukci krovu zámku řadíme mezi vaznicovou soustavu se stojatou stolicí, tvořící mansardový typ zastřešení. V průběhu stavebně technického průzkumu byly využity tři smyslové metody (vizuální, hmatová, sluchová) a tři diagnostické přístroje (elektrický odporový vlhkoměr Elbez WHT 650, Pilodyn 6J a Resistograph IML PD 200).

Pro provedení diagnostických metod byly vybrány čtyři plné vazby, vždy jedna z každé lodi krovu zámku. Jednotlivé prvky krovu, které byly podrobeny diagnostickým metodám, byly bez jakékoli viditelné poruchy, či degradace. Pro určení orientačních pevností byl společně s průzkumem proveden odběr vzorku z konstrukce. Výsledky laboratorních zkoušek

provedené na tomto referenčním vzorku, nám pomohou odvodit přibližné mechanické parametry vzorku.

Výsledkem měření jsou orientační pevnosti v tlaku podél vláken dřevěných prvků, které jsou uvedeny v přílohách bakalářské práce.

Součástí průzkumu byl také průzkum kritických míst konstrukce krovu. Jejich lokalizace a určení rozsahu škod vlivem degračních činitelů je pro statické hodnocení krovu, velmi důležitou informací. Jednalo se o poškození vlivem zatékání srážkové vody, napadení dřevokazným hmyzem a houbami. Na základě provedených měření jsou uvedeny výsledné průměrné hodnoty orientačních pevností v tlaku podél vláken degradovaných prvků. Tyto hodnoty byly určeny stejným způsobem jak u plných vazeb a jsou důležitým podkladem při posudku spolehlivosti konstrukce.

Výsledkem hodnocení tohoto průzkumu je známý fakt o dřevě, že zvyšující se vlhkostí úměrně klesá jeho pevnost i tvrdost. Co se týče srovnání dat z měření pilodynamem a resistographem je možné říci, že naměřená data těmito přístroji jsou poměrně dobře korelovatelná.

Během zpracování bakalářské práce jsem získal spoustu nových informací o vlastnostech dřeva a zvláště dřeva jako stavebního materiálu. Při zpracování jsem se také seznámil se stavebně - technickým průzkumem historické dřevěné konstrukce. Ale co považuji za největší přínos pro mé praktické znalosti v mém oboru je problematika využití přístrojových diagnostických metod při tomto průzkumu.

16. Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Tereze Majstříkové za vedení a pomoc při zpracování této práce.

Rád bych také poděkoval starostovi Města Paskova p. Petru Baďurovi za zpřístupnění a možnost provedení stavebně – technického průzkumu zámku.

Na závěr bych velice rád poděkoval zaměstnancům Katedry stavebních hmot a diagnostiky staveb, hlavně Ing. Liboru Žídkovi za vypůjčení přístrojové techniky, Ing. Janě Daňkové za věcné rady a pomoc při předběžném stavebním průzkumu, dále Ing. Pavlu Mecovi za pomoc při podrobném průzkumu, Ing. Janu Hurtovi za pomoc při provádění pevnostních zkoušek a Daliboru Mecovi za přípravu malých bezvadých těles.

17. Seznam použitých pramenů

Technické normy:

- [1] ČSN EN 13822: *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*
(2015)
- [2] ČSN EN 844-1: *Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 1: Obecné termíny společné pro kulatinu a řezivo* (1997)
- [3] ČSN 49 0108: *Zisťovanie hustoty* (1993)
- [4] ČSN EN 844-4: *Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 4: Termíny pro vlhkost* (1998)
- [5] ČSN EN 844-3: *Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 3: Termíny vztahující se k řezivu*
(1997)
- [6] ČSN EN 844-9: *Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 9: Termíny pro znaky dřeva*
(1998)
- [7] ČSN 49 0110: *Drevo: Medza pevnosti v tlaku v smere vlakien* (1980)
- [8] ČSN 49 0112: *Drevo: Tlak naprieč vlákien* (1979)
- [9] ČSN 49 0115: *Drevo: Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe* (1979)
- [10] ČSN EN 13183-2: *Vlhkost vzorku řeziva – Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou*
(2002)
- [11] ČSN EN 13183-1: *Vlhkost vzorku řeziva – Část 1: Stanovení váhovou metodou* (2002)

Literatura:

- [12] AUGUSTINKOVÁ, L. a ROSOVÁ, R.: *Zámek v Paskově. Stavebně historický průzkum*.
Ostrava, 2003. Nepublikovaný materiál uložený na NPÚ, ú.o.p. Ostrava.
- [13] BALABÁN, K.: *Nauka o dřevě*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1955.

- [14] KAFKA, E.: *Dřevařská příručka*. 1.vyd. PRAHA: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00009-2.
- [15] KHESTL, F., MEC, P.: *Stavební hmoty II*. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, 2013.
- [16] KLOIBER, M. a DRDÁČKÝ, M.: *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-64-0.
- [17] KUKLÍK, P.: *Dřevěné konstrukce*. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
- [18] MENCL, V.: *Stavebně technické průzkumy: MP 8.1*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-27-5.
- [19] POŽGAJ, A, a CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1997.
- [20] REINPRECHT, L.: *Ochrana dreva*. Zvolen: TU Zvolen, 2008. ISBN 978-80-228 1863-6
- [21] REINPRECHT, L a ŠTEFKO, J.: *Dřevěné stropy a krovy: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. 1. vyd. Praha: ARCH, 2000. ISBN 80-86165-29-9.
- [22] SEDLIAČIK, J., SEDLIAČIK, M.: *Lepenie dreva*, ZVOLEN: TU ZVOLEN, 2000, ISBN 80-228-0968-3.
- [23] SVOBODA, L a kol.: *Stavební hmoty*. Bratislava: JAGA, 2005. ISBN 80-8076-007-1
- [24] ŠKABRADA, J.: *Konstrukce historických staveb*. 1. vyd. PRAHA: ARGO, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
- [25] VINAŘ, J.: *Historické krovy I: Typologie, průzkum, opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3038-7.
- [26] VINAŘ, J.: *Historické krovy II: průzkumy a opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1111-7

[27] VINAŘ, J. KUFNER, V.: *Historické krovy: konstrukce a statika*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 80-7169-575-0.

Odborné články:

[28] DAŇKOVÁ, J., MURÍNOVÁ, T., MEC, P.: The existing timber structures-possibilities and limits of diagnostic methods in assessment process. Praha, 2013. ISBN 978-3-03835-083- 5.

[29] JANDÁČEK, V.: *Historie novodobých dřevěných konstrukcí*. Praha, 1885.
Volně dostupné z http://www.jandacek.cz/download/z_hist_novod_drev_stav.pdf

[30] LOKAJ, A. et al.: *Nedestruktivní zjišťování materiálových charakteristik dřevěných konstrukcí*, Vědecká konferencia s medzinárodnou účasťou. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2010. ISBN 978-80-970171-2-5

[31] SOUČEK, J.: *Dřevo-přehled základních vlastností*. Brno: Mendělova univerzita v Brně, 2010
Volně dostupné z http://stary.biom.cz/clen/jso/a_drevo.html

Internetové odkazy:

[32] <http://www.desinsekta.cz/cs/atlas-kdc/atlas-kdc/79-tesarik-krovovy> [25.1.2016]

[33] <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo-stavebni-material-21-stoleti/> [22.1.2016]

[34] <http://www.e-pristroje.cz/vlhkomery-drevo.html> [28.1.2016]

[35] <http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat5.php> [22.2.2016]

[36] <http://www.ferret.com.au/c/hylec-controls/pilodyn-wood-density-meter-from-hylec-n852069> [28.3.2016]

[37] <http://www.chatar-chalupar.cz/drevene-stropy/> [22.3.2016]

[38] <http://lam.vscht.cz/experimentalni-metodiky/20644> [22.3.2016]

[39] <http://www.ochrana-dreva.cz/drevokazne-houby/> [22.3.2016]

[40] <http://www.roubenkyasruby.cz/o-drevu/sesychani> [25.3.2016]

[41] http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/zkousky_tvrlosti.pdf [12.4.2016]

[42] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Krov> [20.1.2016]

18. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Výsledky diagnostického měření plných vazeb – léto

Příloha č. 2 Výsledky diagnostického měření plných vazeb – jaro

Příloha č. 3 Výsledky měření v místech degradací – léto

Příloha č. 4 Výsledky měření v místech degradací – jaro

Příloha č. 5 Výsledky laboratorních zkoušek - malá bezvadá tělesa

Příloha č. 6 Grafy vrtných odporů na referenčním vzorku

Výkres č. 1 Půdorys krovu zámku

Výkres č. 2 Řez krovem A-A´

